ISSN 1992-5980



ВЕСТНИК

ДОНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА



№ 1 (62)
выпуск 2
2012

ВЕСТНИК
ДОНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
2012
№ 1 (62), вып. 2

Теоретический и научно-практический журнал

Рекомендован ВАК для публикаций основных научных результатов диссертаций на соискание учёных степеней доктора и кандидата наук (решение Президиума ВАК Минобрнауки России от 19 февраля 2010 года № 6/6)

Издаётся с 1999 г.

Выходит 8 раз в год
Январь — март 2012 г.

***Учредитель* — Донской государственный технический университет**
Главный редактор — председатель Редакционного совета Б. Ч. Месхи (д-р техн. наук, проф.)

Подписано в печать 27.03.2012.
Формат 60×84/8. Гарнитура Tahoma. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 24,5. Тираж 1000 экз. Заказ № 476. Цена свободная.

Адрес редакции:
344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, тел. (863) 2-738-565.

Адрес издательского центра:
344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, тел. (863) 2-738-741, 2-738-322.
http://vestnik.donstu.ru

Регистрационное свидетельство ПИ № ФС 77-35012 от 16.01.09.

СОДЕРЖАНИЕ

VESTNIK
of
DON STATE TECHNICAL UNIVERSITY
2012

№ 1 (62), issue 2

Theoretical and scientific-practical journal

Recommended by the State Commission for Academic Degrees and Titles for publications of the thesis research results for Doctor's and Candidate Degree (the solution of the Presidium of the State Commission for Academic Degrees and Titles of the Russian Education and Science Ministry, February 19, 2010, № 6/6)

Founded in 1999
8 issues a year
January — March 2012

***Founder* — Don State Technical University**

The issue is prepared by: I. N. Boyko, E. I. Golovko, M. A. Fedenko, M. P. Smirnova (English version)
Passed for printing 27.03.2012.
Format 60×84/8. Font «Tahoma». Offset printing.
C.p.sh. 24,5. Circulation 1000 cop. Order 476. Free price.

Editorial Board's address:
Gagarin Sq. 1, Rostov-on-Don, 344000, Russia. Phone: +7 (863) 273-85-65

Publishing Centre's address:
Gagarin Sq. 1, Rostov-on-Don, 344000, Russia. Phone: +7 (863) 273-87-41, 273-83-22
http://vestnik.donstu.ru

Registration certificate ПИ № ФС 77-35012 от 16.01.09.

CONTENT

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

TECHNICAL SCIENCES

HUMANITIES

SOCIOECONOMIC AND SOCIAL SCIENCES

CONCISE INFORMATION

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 004.414

Программное средство логической проверки корректности криптографических протоколов распределения ключей на основе BAN-логики

Н. С. Могилевская
(Донской государственный технический университет)

Рассмотрена идея анализа криптографических протоколов распределения ключей методами BAN-логики; приведён пример анализа протокола Керберос; построено программное средство, автоматизирующее анализ протоколов распределения ключей; исследована корректность его работы.
Ключевые слова: *формальный анализ протоколов, криптографические протоколы, протоколы распределения ключей, средства автоматизированного анализа протоколов, протокол Керберос.*

Введение. Криптографические протоколы играют значимую роль в защите информации. В разное время было создано большое количество криптографических протоколов различного назначения. Фактически протокол представляет собой список сообщений, которыми должны обменяться участники протокола. Несмотря на кажущуюся простоту, проблема оценки уровня безопасности протоколов является очень сложной. Так многие протоколы, считавшиеся надёжными долгое время, спустя десятки лет демонстрировали свою уязвимость в результате атак [1, 2]. Если определять криптографический протокол более строго, то это — распределённый алгоритм последовательности шагов, точно специфицирующих действия, которые требуются от участников для решения некоторой криптографической задачи [1, 3].

Для исследования уровня безопасности, который может обеспечить как уже существующий, так и только разрабатываемый протокол, используют специализированные формальные методы. Среди математических аппаратов, используемых для решения задачи формального анализа протокола, важную роль играют различные логики, среди которых наибольшее распространение получили логики доверия. В работе [4] была предложена BAN-логика, которая стала основой для разработки ряда других логик. Данная логика является первой попыткой построения формального языка для описания исходных предположений, правил вывода и конечных целей анализа безопасности. BAN-логика, как и её расширения, позволяют проводить анализ протокола вручную, однако это достаточно трудоёмко и чревато ошибками. Целесообразным представляется использовать автоматизированные системы анализа, но в настоящее время подобных программ в свободном доступе нет. Программные средства (ПС), реализующие анализ протоколов методами BAN-логики, могут быть полезны и для тестирования работоспособности и безопасности криптографических протоколов обмена ключами, и для учебных целей, так как изучение любых логик доверия базируется на владении навыками анализа методами BAN-логики.

Постановка задачи. Создать ПС BanAnalyzer, автоматизирующее процесс анализа криптографических протоколов методами BAN-логики. Входные и выходные данные программного средст-

ва должны быть максимально приближены по своему формату к идеализированным протоколам, предлагаемым создателями BAN-логики в оригинальной работе [4].

Для выполнения задачи кратко опишем идеи, лежащие в основе BAN-логики, и сконструируем алгоритмы работы ПС и опишем идею его создания. Затем рассмотрим пример анализа протокола с использованием ПС BanAnalyzer и исследуем корректность результатов его работы.

Основные положения BAN-логики. Данная логика используется для анализа протоколов распределения ключей [4—6]. Основная идея BAN-логики состоит в отслеживании восприятия сторонами поступающей информации, а именно: какие данные они принимают на веру, какие данные им точно известны и какие могут быть выведены логическим путём из достоверных для них фактов. Так, для каждого шага протокола методами BAN-логики формируется список утверждений о безопасности протокола, которым доверяют участники протокола.

При использовании BAN-логики не моделируются ни различие между простым просмотром сообщения и пониманием его, ни пересмотр доверий, ни знание. Все эти аспекты адресуются к неформальному отображению спецификации протокола в спецификацию BAN-логики, которое авторы [4] называют идеализацией. Таким образом, анализу протокола предшествует его идеализация, которая производится человеком самостоятельно согласно описанию протокола. Идеализированные протоколы считаются более ясными и обладающими более полной спецификацией, чем традиционные описания. В терминах BAN-логики протокол рассматривается на абстрактном уровне, следовательно, ошибки конкретной реализации, такие как тупики или неправильное использование криптосистемы, при анализе не обнаруживаются. Методами BAN-логики анализируется непосредственно криптографический протокол и его логика, а используемые в нём криптографические методы считаются стойкими.

Перечислим объекты, которые различают в BAN-логике, и укажем их обозначения. Участники протокола обычно обозначаются A, B, S; общие ключи шифрования, применяемые при симметричной криптографии, обозначаются K_{AB}, K_{AS} и K_{BS}, где индексы в обозначении указывают на участников, использующих данных ключи; открытые ключи, используемые при асимметричной криптографии, обозначаются K_A, K_S и K_B (где A, B, S — участники, которым принадлежат данные открытые ключи), связанные с ними секретные ключи обозначаются K_A^{-1}, K_S^{-1} и K_B^{-1} соответственно; N_A, N_B, N_S — специальные числовые значения (нонсы, метки времени); X, Y — общее обозначение для формул и утверждений.

Единственная используемая логическая операция в BAN-логике — конъюнкция обозначается запятой. Свойства ассоциативности и коммутативности считаются доказанными.

Укажем базовую систему обозначений, принятую в BAN-логике.

$P \mid\equiv X$ — участник протокола P верит (believes) утверждению X; далее участник P будет действовать, считая, что утверждение X верно.

$P \triangleleft X$ — участник P видит (sees) утверждение X; участник P получил от кого-то утверждение X и может его прочитать и повторить.

$P \mid\sim X$ — участник P однажды заявил (once said) утверждение X, и в тот момент P верил утверждению X, однако время этого высказывания неизвестно.

$P \mid\Rightarrow X$ — P обладает полномочиями (jurisdiction) над X; т. е. участник P является автором утверждения X и верит в него. Эта конструкция часто обозначает, что пользователь имеет права на создание ключей.

$\#(X)$ — утверждение X является свежим (fresh). Под термином «свежий» понимается, что утверждение X сгенерировано в текущем сеансе связи и не было послано до начала работы протокола.

$P \overset{K}{\leftrightarrow} Q$ — участники P и Q могут использовать общий ключ K для установления связи. Предполагается, что ключ K достаточно стоек и не может быть взломан кем-либо из посторонних, если это не предусмотрено протоколом.

$\overset{K}{\rightarrow} P$ — P имеет открытый ключ K (public key), а также согласованный с ним качественный секретный ключ K^{-1}, никому не известный, кроме P или участника, которому он доверяет.

$P \overset{X}{\Leftrightarrow} Q$ — утверждение X является секретом, известным только участникам P и Q, и они могут использовать X для доказательства своей аутентичности один другому.

$\{X\}_K$ — данные X зашифрованы с использованием ключа K. Шифрование считается надёжным.

$\langle X \rangle_K$ — конкатенация утверждения X и секрета Y. Секрет Y полностью идентифицирует объект, заявивший утверждение X.

При анализе протоколов аутентификации различают два времени: прошлое и настоящее. Настоящее время начинается со старта данного сеанса работы протокола. Все сообщения, посланные до этого, считаются старыми сообщениями, и в ходе работы протокола необходимо предотвращать возможность появления таких сообщений. Все веры, принятые в настоящем, неизменны на протяжении всего сеанса работы протокола, однако те веры, которые были приняты в прошлом, не обязательно должны быть переведены в настоящее. Такое простое разделение времени на прошлое и настоящее является достаточным для использования в BAN-логике.

Ниже укажем наиболее важные правила вывода BAN-логики, используемые для получения новых утверждений и доверий участников протокола. В постулатах используем запись вида

$$\frac{A, B}{C},$$

что означает, что так как утверждения A и B верны, то верно и утверждение C.

Первые три выражения задают так называемые правила значения сообщений. Основное их различие состоит в том для получения одного и того же утверждения используются различные исходные веры. Два первых правила позволяют интерпретировать шифрованные сообщения, а третье правило позволяет интерпретировать сообщения с секретами. Они все объясняют процесс получения верований о происхождении сообщений:

$$\frac{P \mid\equiv Q \overset{K}{\leftrightarrow} P, P \triangleleft \{X\}_K}{P \mid\equiv Q \mid\sim X}, \tag{1}$$

$$\frac{P \mid\equiv \overset{K}{\rightarrow} Q, P \triangleleft \{X\}_{K^{-1}}}{P \mid\equiv Q \mid\sim X},$$

$$\frac{P \mid\equiv Q \overset{Y}{\Leftrightarrow} P, P \triangleleft \{X\}_{K^{-1}}}{P \mid\equiv Q \mid\sim X}.$$

Дадим эквивалентную словесную формулировку первому из этих выражений: из предположений о том, что P верит в совместное с Q использование ключа K, и P видит сообщение X, зашифро-

ванное ключом *K*, делаем вывод: *P* верит, что *Q* в какой-то момент высказал *X*. Заметим, что здесь неявно предполагается, что сам *P* никогда не высказывал *X*.

Правило проверки нонсов:

$$\frac{P \mid\equiv \#(X), P \mid\equiv Q \mid\sim X}{P \mid\equiv Q \mid\equiv X}, \tag{2}$$

т. е. если *P* верит, в свежесть сообщения *X* и верит, что *Q* когда-то высказал *X*, то он верит в то, что *Q* по-прежнему доверяет *X*.

Правило полномочий:

$$\frac{P \mid\equiv Q \mid\Rightarrow X, P \mid\equiv Q \mid\equiv X}{P \mid\equiv X} \tag{3}$$

говорит, что вера *P* в полномочия *Q* относительно *X* и вера *Q* в *X*, влекут за собой веру *P* в *X*.

Как уже было сказано, перед непосредственным анализом протокола его необходимо представить в идеализированной форме. Для этого нужно записать шаги протокола в терминах BAN-логики. Обычно в литературе каждый шаг протокола записывается в виде символьной строки:

$$P \to Q : \textit{сообщение}.$$

Такая запись означает, что участник *P* посылает сообщение участнику *Q*, а *Q* получает это сообщение. Сообщение представляет собой строчку, содержащую различные данные. Сообщение в идеализированном протоколе — это формула. Например, в описании протокола может быть такая символьная запись:

$$A \to B : \{A, K_{AB}\}_{K_{BS}},$$

которая означает, что *B* получил сообщение от *A*. Сообщение зашифровано ключом K_{BS} связи участника *B* и доверенного сервера *S* и содержит имя участника протокола *A*, а также ключ K_{AB} для связи участников *A* и *B*. Этот шаг может быть идеализирован как:

$$B \triangleleft \left\{ A \overset{K_{AB}}{\leftrightarrow} B \right\}_{K_{BS}},$$

что означает, что участник *B* принял сообщение и может действовать дальше на основе полученных данных. В идеализированной форме опускаются части сообщений, которые не способствуют получению новых формул. Например, можно опустить сообщения, используемые как рекомендации о необходимости инициализации связи, то есть, как будто участники действуют спонтанно. Идеализированные протоколы не включают открытый текст как часть сообщения, так как эти части могут быть подделаны.

Идеализированные протоколы считаются более ясными и более законченными спецификациями, чем традиционные описания, используемые в литературе, поэтому авторы BAN-логики рекомендуют использовать идеализированные формы при изобретении и описании протоколов. Получение практического вида протокола из идеализированной формы, хотя и не совсем тривиально, но менее трудоёмко и менее подвержено ошибкам, чем однозначное понимание специфических неформальных записей протоколов. К сожалению, идеализация протокола производится человеком самостоятельно, этот этап нельзя автоматизировать, и, следовательно, при его выполнении возможны ошибки. К тому же не существует строгого алгоритма записи протокола в идеализированной форме. Более того, в ряде случаев идеализация одного и того же шага протокола может быть выполнена различными способами.

Укажем в общем виде утверждения, достижение которых обычно и является целью анализа протокола с использованием симметричной криптографии.

Для протоколов передачи ключей минимальными целями являются:

$$A \mid\equiv A \overset{K}{\leftrightarrow} B,\ B \mid\equiv A \overset{K}{\leftrightarrow} B$$

т. е. оба участника верят в то, что у них есть общий ключ *K* для связи. Однако можно потребовать от протокола большего, например уверенности участников в свежести ключа:

$$A \mid\equiv \#\left(A \overset{K}{\leftrightarrow} B\right), B \mid\equiv \#\left(A \overset{K}{\leftrightarrow} B\right),$$

а также уверенности каждого из них в том, что другой участник также верит в этот ключ:

$$A \mid\equiv B \mid\equiv A \overset{K}{\leftrightarrow} B,\ B \mid\equiv A \mid\equiv A \overset{K}{\leftrightarrow} B.$$

Такие утверждения называют подтверждением приёма ключа. Т. е. в результате работы протокола *A* будет уверен в знании *B* о том, что он разделяет секретный ключ с *A*, а *B* будет верить в то, что *A* знает об их общем ключе. В случае использования асимметричной криптографии цели анализа протокола формируются аналогичными утверждениями.

Пример анализа протокола методами BAN-логики. Рассмотрим хорошо известный протокол Керберос [2, 3], разработанный как часть проекта Project Athena корпорацией MIT. Протокол позволяет двум участникам, используя доверенный сервер аутентификации, получить общий ключ. Напомним, что протокол состоит из 4 шагов. На первом участник *A* посылает серверу *S* сообщение, указывая участника *B*, с которым хочет установить общий ключ; на втором шаге сервер *S* отправляет *A* новый ключ K_{AB}, зашифрованный ранее установленным между *A* и *S* общим ключом K_{AS}, а также K_{AB}, зашифрованный общим между *B* и *S* ключом K_{BS}. В своё сообщение *S* добавляет временные метки для подтверждения свежести ключа; на следующем шаге участник А пересылает участнику В сообщение из двух частей: ключ K_{AB}, зашифрованный K_{BS}, а так же ключ K_{AB}, зашифрованный этим же ключом. В своё сообщение *A* добавляет временные метки; на последнем шаге участник *B* пересылает *A* сообщение со своей временной меткой, закрытое новым общим ключом K_{AB}. В традиционной символьной записи шаги этого протокола выглядят следующим образом:

$$\text{Шаг } 1: A \to S: \{A, B\}$$

$$\text{Шаг } 2: S \to A: \left\{T_s, K_{AB}, \{T_s, K_{AB}, A\}_{K_{BS}}\right\}_{K_{AB}}$$

$$\text{Шаг } 3: A \to B: \{T_s, K_{AB}, A\}_{K_{BS}}, \{T_A, K_{AB}\}_{K_{AB}}$$

$$\text{Шаг } 4: B \to A: \{T_A - 1, K_{AB}\}_{K_{AB}}$$

Построим идеализацию протокола. Отметим, что первый шаг отбрасывается, так как не имеет ценности для дальнейшего анализа, а служит только для инициализации протокола:

$$\text{Шаг } 2: A \triangleleft \left\{T_s, \left(A \overset{K_{AB}}{\leftrightarrow} B\right), \left\{T_s, \left(A \overset{K_{AB}}{\leftrightarrow} B\right)\right\}_{K_{BS}}\right\}_{K_{AS}}$$

$$\text{Шаг } 3: B \triangleleft \left\{T_S, \left(A \overset{K_{AB}}{\leftrightarrow} B\right)_{K_{BS}}, \left(T_a, A \overset{K_{AB}}{\leftrightarrow} B\right)_{K_{AB}}\right\}$$

$$Шаг\ 4: \left\{ T_A, \left(A \overset{K_{AB}}{\leftrightarrow} B \right) \right\}_{K_{AB}}$$

В табл. указаны первоначальные доверия участников, необходимые для начала работы протокола.

Доверия участников протокола Керберос (в терминах BAN-логики)

Доверия	Значение
$A \mid\equiv A \overset{K_{AS}}{\leftrightarrow} S$	*A* верит, что между *A* и *S* установлен общий ключ для симметричного шифрования K_{AS}
$B \mid\equiv B \overset{K_{BS}}{\leftrightarrow} S$	*B* верит, что между *B* и *S* установлен общий ключ для симметричного шифрования K_{BS}
$A \mid\equiv S \Rightarrow K_{AB}$	*A* доверяет серверу аутентификации *S* генерацию симметричного ключа K_{AB}
$B \mid\equiv S \Rightarrow K_{AB}$	*B* доверяет серверу аутентификации генерацию симметричного ключа K_{AB}
$A \mid\equiv \# T_S$	*A* верит в то, что временная вставка T_S, созданная *S*, актуальна (доказывает свежесть сообщения от *S*)
$B \mid\equiv \# T_S$	*B* верит в то, что временная вставка T_S, созданная *S*, актуальна (доказывает свежесть сообщения от *S*)
$A \mid\equiv \# T_B$	*A* верит в то, что временная вставка *B* актуальна (доказывает свежесть сообщения от *B*)
$B \mid\equiv \# T_A$	*B* верит в то, что временная вставка *A* актуальна (доказывает свежесть сообщения от *A*)

Проанализируем шаги протокола последовательно один за другим, по возможности применяя к ним все основные правила BAN-логики. Запишем основные значимые этапы анализа. На втором шаге, применяя правило значения сообщений (1) получаем:

$$\frac{A \mid\equiv A \overset{K_{AS}}{\leftrightarrow} S,\ A \triangleleft \left\{ T_S, \left(A \overset{K_{AB}}{\leftrightarrow} B \right), \left\{ T_S, \left(A \overset{K_{AB}}{\leftrightarrow} B \right) \right\}_{K_{BS}} \right\}_{K_{AS}}}{A \mid\equiv S \mid\sim T_S, \left(A \overset{K_{AB}}{\leftrightarrow} B \right), \left\{ T_S, \left(A \overset{K_{AB}}{\leftrightarrow} B \right) \right\}_{K_{BS}}}. \quad (4)$$

Из правила проверки нонсов (2) получаем

$$\frac{A \mid\equiv S \mid\sim T_s, \left(A \overset{K_{AB}}{\leftrightarrow} B \right), \left\{ T_s, \left(A \overset{K_{AB}}{\leftrightarrow} B \right) \right\}_{K_{BS}},\ A \mid\equiv \# T_s}{A \mid\equiv S \mid\equiv \left(A \overset{K_{AB}}{\leftrightarrow} B \right)}. \quad (5)$$

Применение правила проверки полномочий (3) даёт нам следующий результат:

$$\frac{A \mid\equiv S \mid\equiv \left(A \overset{K_{AB}}{\leftrightarrow} B \right),\ A \mid\equiv S \mid\Rightarrow \left(A \overset{K_{AB}}{\leftrightarrow} B \right)}{A \mid\equiv \left(A \overset{K_{AB}}{\leftrightarrow} B \right)}. \quad (6)$$

Таким образом, в результате шага 2 протокола участник *A* доверяет полученному от *S* ключу для связи *A* и *B*.

Последовательно применяя (1), (2) и (3) к шагу 3 протокола получаем

$$B \mid\equiv A \overset{K_{AB}}{\leftrightarrow} B,\ \ B \mid\equiv A \mid\equiv A \overset{K_{AB}}{\leftrightarrow} B.$$

Результат анализа шага 4 протокола даёт формулу:

$$A \mid\equiv B \mid\equiv A \overset{K_{AB}}{\leftrightarrow} B.$$

Таким образом, анализ BAN-логикой показал, что выполнение протокола Керберос обеспечивает достижение всех целей симметричного протокола обмена ключами без использования дополнительных доверий. Ещё раз подчеркнём, что использованная логика не показывает уязвимостей протокола, связанных со слабостью процедур шифрования и ошибками реализации. По результатам анализа мы получили знание о логической корректности протокола.

Алгоритмическое конструирование ПС. Алгоритмы работы программы условно можно разделить на четыре части: алгоритмы, реализующие взаимодействие с пользователем; алгоритм разбора введённого пользователем текста описания протокола на утверждения BAN-логики; алгоритм анализа протокола и алгоритм формирования выходных данных.

Алгоритм разбора пользовательского ввода на утверждения BAN-логики получает на вход текст описания протокола. Текст может содержать шаги протокола, принятые доверия и комментарии к описанию. Комментарии из дальнейшего анализа исключаются как незначимые для анализа протокола. Выделить их в описании достаточно просто по служебному символу «#», предваряющему текст комментария. Шаги протокола отличаются от доверий тем, что их запись начинается с номера. Затем в строках, содержащих шаги и доверия, выделяем имена участников, ключевые слова (believes, sees, said, controls) и т. д. Алгоритмом по мере работы заполняются списки шагов, доверий и сообщений об ошибках — эти три списка считаются выходными данными этого алгоритма.

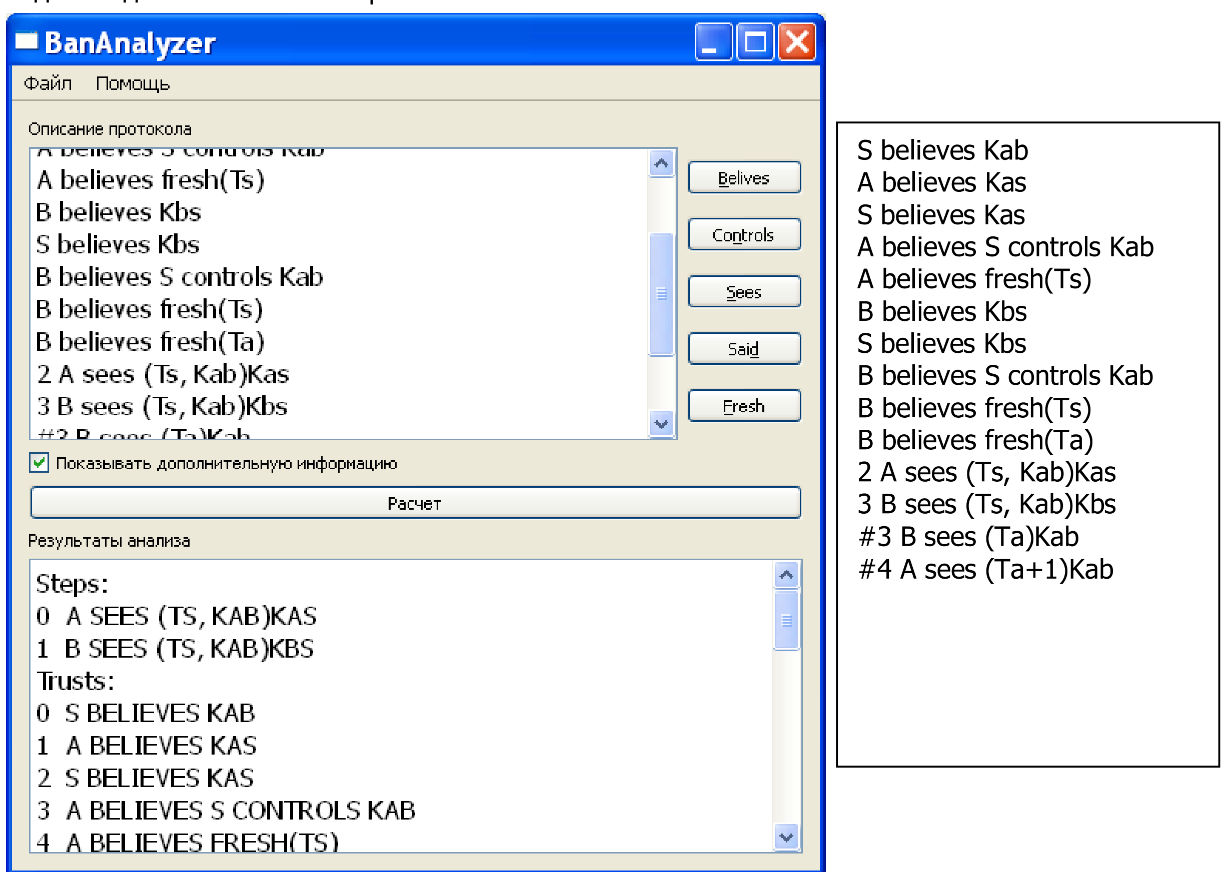


Рис. 1. Основное окно ПС BanAnalyzer и полный текст описания исследуемого протокола Керберос

Наиболее трудоёмким является алгоритм проведения анализа. Он различается для симметричных и асимметричных криптографических протоколов. Оба варианта алгоритма включа-

ют в себя как составную часть алгоритм поиска по довериям и результатам. Результат работы алгоритма поиска указывает, известно ли уже данное утверждение и чем оно является — первоначальным доверием или результатом анализа. Анализ каждого из шагов протокола проходит через три стадии, на каждой из которых последовательно применяются основные правила BAN-логики: проверка значений сообщений, проверка нонсов и проверка полномочий, при необходимости к основным правилам добавляется ещё ряд стандартных правил BAN-логики, не описанных в данной работе.

Выходные данные представляются в виде текстового файла, который формируется в следующем порядке: сначала к выходному тексту добавляем все распознанные шаги протокола в естественном порядке, затем добавляем все распознанные доверия протокола, после этого дописываем все полученные результаты анализа протокола в порядке их получения, в заключение вносим в результирующий файл информацию о всех неиспользованных довериях протокола, записи о правилах BAN-логики, применённых к каждому из шагов протокола, записи об ошибках во время распознавания шагов и доверий протокола.

Программное конструирование анализатора BAN-логики BanAnalyzer. Для реализации программного средства был использован высокоуровневый язык программирования C++ в совокупности с бесплатным фреймворком Qt4. Архитектурный каркас данного ПС реализует шаблон проектирования MVC («модель — представление — контроллер»). Это подразумевает, что модели данных приложения, пользовательский интерфейс и основная логика работы приложения разделены на три слабосвязных компонента так, что модификация одного из компонентов оказывает минимальное воздействие на остальные.

Роль обязательной для C++ функции main() в разработанном ПС заключается в создании главного окна приложения и запуска цикла обработки событий. Модель архитектуры MVC реализована в модуле models, представленном файлами models.h и models.cpp. Основой программы является класс Expression, представляющий в программе выражения BAN-логики. Класс Exression имеет три поля: строковое поле who; поле type, принимающее одно из четырёх возможных значений: BELIEVES, CONTROLS, SAID, SEES, и поле what, являющееся объектом класса Subject, определённого в этом же модуле. Класс Expression имеет два конструктора; метод toQString, возвращающий строковое представление выражения, и статический метод stringIsType(QString), возвращающий значение «истина», если параметр функции является допустимым значением для поля type, и «ложь» в противном случае. Класс BanAnalyzer, унаследованный от QMainWindow, — основная составная часть представлений модели MVC. Важнейшими методами класса являются следующие. Input_parsing() реализует разбор пользовательского ввода на выражения BAN-логики, создание объектов класса Expression и добавление их к собственному объекту класса BanControl. On_pushButton_clicked() — обработчик события нажатия на кнопку «Расчёт», запускает метод input_parsing(), затем метод контроллера для процедуры анализа, после чего формирует окончательный вывод результата. Обработчики нажатия на кнопки конструктора описаний, добавляют соответствующие им слова в поле для ввода в текущую позицию курсора. Обработчики вызовов меню. Класс HelpDialog, унаследованный от QDialog, реализует диалоговое окно помощи. Основными функциональными компонентами являются следующие. Метод showHelp(QString) позволяет отображать текстовое содержание файла с именем, указанным в параметре на поле вывода диалогового окна. Обработчики нажатий на кнопки диалога вызывают метод showHelp, передавая ему различные имена файлов, в которых хранятся соответствующие справочные тексты. Класс BanControl — контроллер программы по архитек-

```
Steps:
0  A SEES (TS, KAB)KAS
1  B SEES (TS, KAB)KBS
2  B SEES (TA, KAB)KAB
3  A SEES (TB, KAB)KAB
Trusts:
0  A BELIEVES KAS
1  A BELIEVES S CONTROLS KAB
2  A BELIEVES FRESH(TS)
3  B BELIEVES KBS
4  B BELIEVES S CONTROLS KAB
5  B BELIEVES FRESH(TS)
6  B BELIEVES FRESH(TA)
7  A BELIEVES FRESH(TB)
8  B BELIEVES FRESH(TA)

Results:
A BELIEVES S SAID TS, KAB
A BELIEVES S BELIEVES TS
A BELIEVES S BELIEVES  KAB
A BELIEVES  KAB
B BELIEVES S SAID TS, KAB
B BELIEVES S BELIEVES TS
B BELIEVES S BELIEVES  KAB
B BELIEVES  KAB
B BELIEVES A SAID TA, KAB
B BELIEVES A BELIEVES TA
B BELIEVES A BELIEVES  KAB
A BELIEVES B SAID TB, KAB
A BELIEVES B BELIEVES TB
A BELIEVES B BELIEVES  KAB

Additional info:
trust 8 is unused !
Step 0 fully resolved
Step 1 fully resolved
Step 2 nonce-verification resolved
Step 3 nonce-verification resolved
```

Рис. 2. Результат автоматизированного анализа протокола Керберос

туре MVC, инкапсулирует в себе динамические списки шагов (steps), доверий (trusts) и результатов (results) протокола, список строк со сведениями об ошибках (messages) и некоторую служебную информацию, в том числе сведения об использовании шагов (массив steps_analisys) и доверий (массив trust_using). Алгоритм процедуры анализа протокола BAN-логикой выполняется в теле метода calculating().

В левой части рис. 1 приведён скриншот основного окна ПС BanAnalyzer, содержащий описание протокола Керберос и результаты его анализа. В программе для записи шагов протоколов и доверий участников использованы обозначения BAN-логики, предложенные разработчиками BAN-логики. Кнопки Believes, Controls, Said, Sees, Fresh используются для вставки соответствующих кванторов при формировании описания протокола.

Пример проведения анализа протокола с использованием ПС BanAnalyzer. На правой части рис. 1 представлено полное описание протокола Керберос, введённое в программу для анализа. Результат анализа протокола Керберос с помощью построенного ПС представлен на рис. 2. Напомним, что по результатам ручного анализа протокол Керберос обеспечил достижение четырёх целей симметричного протокола обмена ключами, в результате автоматизированного анализа достигнуты те же цели. Итоговые результаты на рис. 2 подчёркнуты.

Исследование работоспособности ПС BanAnalyzer. Для испытания качества разработанного ПС были подготовлены идеализированные описания ряда из четырнадцати хорошо известных протоколов (Керберос, асимметричного и симметричного протоколов Нидхема — Шрёдера, Ньюмана — Стабблайна, Ву — Лама, Деннинга — Сакко, Отвея — Рииса, Andrew RPC Handshake, DASS, BAN-Yahalom, Station-to-station, EKE, SPX, «Широкоротая лягушка» [2, 6, 7]). Для каждого из этих протоколов был проведён анализ «вручную» и подготовлен список известных из литературы возможных атак. В ходе испытаний проводился автоматизированный анализ с помощью разработанного ПС и затем сравнивались результаты автоматизированного, ручного анализа и известных уязвимостей. Проведённые испытания показали, что реализованное ПС BanAnalyzer корректно выполняет формальный анализ криптографических протоколов распределения ключей методами BAN-логики и может быть использовано как для изучения уже существующих протоколов, так и в процессе разработки новых протоколов для предотвращения их возможных уязвимостей.

Заключение. В работе построено автоматизированное ПС, позволяющее проводить формальную проверку логической корректности криптографических протоколов распределения ключей на основе использования BAN-логики. Проведённые исследования показали корректность его

работы. В настоящее время построенное ПС доступно во внутренней сети ФГБОУ ВПО «ДГТУ» для использования студентами специальности 090103 «Компьютерная безопасность» в рамках изучения дисциплины «Криптографические протоколы» [5].

В качестве дальнейшего направления работы представляется интересным построить программные реализации для других логик доверия, например, AUTLOG (V. Kessler, G. Wedel), логики объяснений (R. Kaylar), RV-логики (D. Kindred), GNY (L. Gong, R. Needham, R. Yahalom), BGNY/HOL, SvO (P. Syverson), что позволит легко анализировать протоколы этими методами, а также проводить сравнительный анализ как различных протоколов, так и результатов анализа одного и того же протокола различными логиками. Считаем важной задачей организацию свободного доступа к разработанной программе и её исходным кодам через Интернет для всех заинтересованных в использовании, изучении, а также дальнейшей разработке.

Библиографический список

1. Могилевская, Н. С. Верификация криптографических протоколов распределения ключей с использованием раскрашенных сетей Петри / Н. С. Могилевская, С. С. Колчанов // Вестник Донского гос. техн. ун-та. — 2011. — Т. 11. — № 9. — С. 1535—1543.

2. Черёмушкин, А. В. Криптографические протоколы: основные свойства и уязвимости / А. В. Черёмушкин. — Москва: Ин-т криптографии, 2009. — 272 с.

3. Шнайер, Б. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си / Б. Шнайер. — Москва: Триумф, 2002. — 816 с.

4. Burrows, M. A logic of authentication / M. Burrows, M. Abadi, R. Needham // ACM Transactions on Computer System. — V. 8. — № 1. — Feb. 1990. — P. 18—36.

5. Могилевская, Н. С. Основы BAN-логики: метод. указания к практическим занятиям по курсу «Криптографические протоколы» [Электрон. ресурс] / Н. С. Могилевская. — Режим доступа: http://de.dstu.edu.ru/CDOCourses/3/3/20125c3d5375-aa2f-41fe-ac35-b71dc060ae20/1001/method/index.html (дата обращения: 15.10.2011).

6. Могилевская, Н. С. Сравнение возможностей сетей Петри и BAN-логики в анализе криптографических протоколов проверки подлинности и обмена ключами / Н. С. Могилевская, С. С. Колчанов // Системный анализ, управление и обработка информации. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2011. — С. 98—101.

7. Aly, S. Protocol verification and analysis using colored Petri nets. Technical report / S. Aly. — Cairo: Cairo University, 2003. — 26 p.

Материал поступил в редакцию 02.12.2011.

References

1. Mogilevskaya, N. S. Verifikaciya kriptograficheskix protokolov raspredeleniya klyuchej s ispol`zovaniem raskrashenny`x setej Petri / N. S. Mogilevskaya, S. S. Kolchanov // Vestnik Donskogo gos. texn. un-ta. — 2011. — T. 11. — № 9. — S. 1535—1543. — In Russian.

2. Cheryomushkin, A. V. Kriptograficheskie protokoly`: osnovny`e svojstva i uyazvimosti / A. V. Cheryomushkin. — Moskva: In-t kriptografii, 2009. — 272 s. — In Russian.

3. Shnajer, B. Prikladnaya kriptografiya. Protokoly`, algoritmy`, isxodny`e teksty` na yazy`ke Si / B. Shnajer. — Moskva: Triumf, 2002. — 816 s. — In Russian.

4. Burrows, M. A logic of authentication / M. Burrows, M. Abadi, R. Needham // ACM Transactions on Computer System. — V. 8. — № 1. — Feb. 1990. — P. 18—36.

5. Mogilevskaya, N. S. Osnovy` BAN-logiki: metod. ukazaniya k prakticheskim zanyatiyam po kursu «Kriptograficheskie protokoly`» [E`lektron. resurs] / N. S. Mogilevskaya. — Rezhim dostupa:

http://de.dstu.edu.ru/CDOCourses/3/3/20125c3d5375-aa2f-41fe-ac35-b71dc060ae20/1001/method/index.html (data obrashheniya: 15.10.2011). — In Russian.

6. Mogilevskaya, N. S. Sravnenie vozmozhnostej setej Petri i BAN-logiki v analize kriptograficheskix protokolov proverki podlinnosti i obmena klyuchami / N. S. Mogilevskaya, S. S. Kolchanov // Sistemny`j analiz, upravlenie i obrabotka informacii. — Rostov-na-Donu: Izd. centr DGTU, 2011. — S. 98—101. — In Russian.

7. Aly, S. Protocol verification and analysis using colored Petri nets. Technical report / S. Aly. — Cairo: Cairo University, 2003. — 26 p.

SOFTWARE TOOL FOR LOGICAL VALIDATION OF CRYPTOGRAPHIC KEY GENERATION PROTOCOLS BASED ON BAN-LOGIC

N. S. Mogilevskaya
(Don State Technical University)

The idea of analyzing cryptographic key generation protocols through BAN-logic methods is considered. An example of Kerberos protocol analysis is given. The software tool that automates the analysis of key generation protocols is built. Its validation is investigated.
Keywords: *formal protocol analysis, cryptographic protocols, key generation protocols, computer-aided protocol analysis tools, Kerberos protocol.*

УДК 519.63(075.8)

Математическое моделирование концентрационного поля электролита в управляемом электрохимическом сопротивлении

Т. П. Скакунова, Ю. Я. Герасименко

(Донской государственный технический университет)

Рассматривается и решается начально-краевая задача по математическому моделированию поля концентрации электролита в управляемом электрохимическом сопротивлении (УЭХС) с плоскими электродами. Модель позволяет вести полное исследование электрохимических процессов во всём объёме УЭХС. Выполнены контрольные расчёты пространственно-временного распределения концентрации при постоянном управляющем токе УЭХС.

Ключевые слова: *краевые условия, параболическое уравнение диффузии, плотность электрического тока, распределение концентрации, дифференциальное уравнение, изображение концентрации.*

Введение. УЭХС представляет собой цилиндрический проводник длиною l прямоугольного сечения (подложка) $a \times r$, изготовленный из стеклографита. Если на боковую поверхность УЭХС наносить электрохимическим способом тонкий слой металла, то сечение слоёного проводника будет увеличиваться и его проводимость возрастёт. Распределение слоя осаждаемого металла по боковой поверхности УЭХС полностью определяется распределением концентрационного поля электролита.

В статье рассматривается постановка и решение начально-краевой задачи для пространственно-временного распределения концентрации электролита в УЭХС.

Основные допущения:

– лимитирующей стадией электродных процессов в цепи управления УЭХС является молекулярная диффузия;

– коэффициент диффузии электролита есть величина постоянная и не зависит от температуры;

– плотность электрического тока по поверхности управляющего электрода распределена равномерно;

– пространственно-временное распределение концентрации электролита является плоско параллельным и зависит от координат x; y и времени t;

– толщина наносимого металла значительно меньше поперечных размеров УЭХС.

Постановка задачи. Согласно принятым выше основным допущениям, все физические поля в УЭХС являются плоскопараллельными и не зависят от координаты z (рис. 1), перпендикулярной

плоскости *xOy.* Слой металла, наносимый на подложку УЭХС, является ничтожно тонким по сравнению с геометрическими размерами самой подложки и толщиной слоя электролита.

На основании 2-го закона Фика относительно концентрационного поля электролита $C(x;\ y;\ t)$ ставится следующая начально-краевая задача.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D\left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2}\right),\ \ x \in [0; l],\ y \in [0; h]. \tag{1}$$

$$C(x; y; 0) = C_0, \tag{2}$$

$$\frac{\partial C}{\partial y}(x; 0; t) = \frac{NI_2(t)}{al}, \tag{3}$$

$$\frac{\partial C}{\partial y}(x; h; t) = N\delta(x; t), \tag{4}$$

$$\frac{\partial C}{\partial x}(0; y; t) = 0, \tag{5}$$

$$\frac{\partial C}{\partial x}(l; y; t) = 0, \tag{6}$$

где D — коэффициент диффузии электролита; C_0 — начальная концентрация электролита; a — толщина УЭХС; $\delta(x;t)$ — неизвестное и подлежащее определению распределение плотности тока на подложке; N — электродно-кинетическая константа.

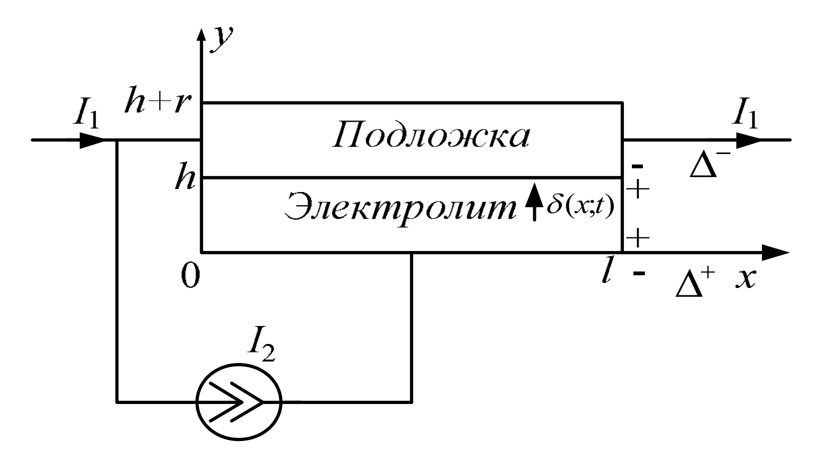


Рис. 1. Схема включения УЭХС

Задачу (1) — (6) удобнее всего решать операторным методом Лапласа. Для этого введём следующие соответствия:

$$C(x; y; t) \risingdotseq \dot{C}(x; y; p); \qquad I_2(t) \risingdotseq \dot{I}_2(p); \qquad \delta(x; y; t) \risingdotseq \dot{\delta}(x; y; p).$$

В пространстве изображений относительно $\dot{C}(x; y; p)$ имеем краевую задачу:

$$pC(x; y; p) - C_0 = D\left(\frac{\partial^2 \dot{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \dot{C}}{\partial y^2}\right), \tag{7}$$

$$\frac{\partial \dot{C}}{\partial y}(x;0;p)=\frac{N\dot{I}_2(p)}{al}, \tag{8}$$

$$\frac{\partial \dot{C}}{\partial y}(x;h;p)=N\dot{\delta}(x;p), \tag{9}$$

$$\frac{\partial \dot{C}}{\partial x}(0;y;p)=0, \tag{10}$$

$$\frac{\partial \dot{C}}{\partial x}(l;y;p)=0. \tag{11}$$

Преобразуем уравнение (7) к виду:

$$\frac{\partial^2 \dot{C}}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 \dot{C}}{\partial y^2}-\frac{p}{D}\dot{C}=-\frac{C_0}{D}. \tag{12}$$

Краевую задачу (8) — (12) будем решать методом разделения переменных. Для этого введём новую функцию $\dot{u}(x;y;p)$ по правилу:

$$\dot{u}(x;y;p)=\dot{C}(x;y;p)-\frac{C_0}{p}. \tag{13}$$

Для неё получается вспомогательная краевая задача:

$$\frac{\partial^2 \dot{u}}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 \dot{u}}{\partial y^2}-\frac{p}{D}\dot{u}=0, \tag{14}$$

$$\frac{\partial \dot{u}}{\partial y}(x;0;p)=\frac{N\dot{I}_2(p)}{al}, \tag{15}$$

$$\frac{\partial \dot{u}}{\partial y}(x;h;p)=N\dot{\delta}(x;p), \tag{16}$$

$$\frac{\partial \dot{u}}{\partial x}(0;y;p)=0, \tag{17}$$

$$\frac{\partial \dot{u}}{\partial x}(l;y;p)=0. \tag{18}$$

Общее решение уравнения (14) определяем как суперпозицию частных режимов [1]:

$$\begin{aligned}\dot{u}(x;y;p)=&\left(M_0(p)\operatorname{sh}\sqrt{\frac{p}{D}}y+N_0(p)\operatorname{ch}\sqrt{\frac{p}{D}}y\right)\frac{1}{\sqrt{l}}+\\&+\sum_{k=1}^{\infty}\left(M_k(p)\operatorname{sh}\sqrt{\frac{p}{D}+\mu_k^2}\,y+N_k(p)\operatorname{ch}\sqrt{\frac{p}{D}+\mu_k^2}\,y\right)X_k(x),\end{aligned} \tag{19}$$

где $\mu_k=\frac{k\pi}{l}$, $k=1,2,\ldots$ — собственные числа краевой задачи (14) — (18),

$X_k(x)=\sqrt{\frac{2}{l}}\cos\frac{k\pi}{l}x$, $k=1,2,\ldots$ — собственные функции, $M_0(p)$, $N_0(p)$, $M_k(p)$, $N_k(p)$ — произвольные постоянные.

Для конкретного определения коэффициентов разложения в (19) продифференцируем его по y:

$$\frac{\partial \dot{u}}{\partial y}(x;y;p)=\sqrt{\frac{p}{D}}\left(M_0(p)\,\mathrm{ch}\sqrt{\frac{p}{D}}y+N_0(p)\,\mathrm{sh}\sqrt{\frac{p}{D}}y\right)\frac{1}{\sqrt{l}}+$$
$$+\sum_{k=1}^{\infty}\sqrt{\frac{p}{D}+\mu_k^2}\left(M_k(p)\,\mathrm{ch}\sqrt{\frac{p}{D}+\mu_k^2}\,y+N_k(p)\,\mathrm{sh}\sqrt{\frac{p}{D}+\mu_k^2}\,y\right)X_k(x). \quad (20)$$

Из (20) при y = 0 и y = h соответственно получаем:

$$\frac{\partial \dot{u}}{\partial y}(x;0;p)=\sqrt{\frac{p}{D}}M_0(p)\frac{1}{\sqrt{l}}+\sum_{k=1}^{\infty}\sqrt{\frac{p}{D}+\mu_k^2}M_k(p)X_k(x), \quad (21)$$

$$\frac{\partial \dot{u}}{\partial y}(x;h;p)=\sqrt{\frac{p}{D}}\left(M_0(p)\,\mathrm{ch}\sqrt{\frac{p}{D}}h+N_0(p)\,\mathrm{sh}\sqrt{\frac{p}{D}}h\right)\frac{1}{\sqrt{l}}+$$
$$+\sum_{k=1}^{\infty}\sqrt{\frac{p}{D}+\mu_k^2}\left(M_k(p)\,\mathrm{ch}\sqrt{\frac{p}{D}+\mu_k^2}\,h+N_k(p)\,\mathrm{sh}\sqrt{\frac{p}{D}+\mu_k^2}\,h\right)X_k(x). \quad (22)$$

Подставим теперь (15) в (21), а (16) в (22):

$$\frac{N\dot{I}_2(p)}{al}=\sqrt{\frac{p}{D}}M_0(p)\frac{1}{\sqrt{l}}+\sum_{k=1}^{\infty}\sqrt{\frac{p}{D}+\mu_k^2}M_k(p)X_k(x), \quad (23)$$

$$N\dot{\delta}(x;p)=\sqrt{\frac{p}{D}}\left(M_0(p)\,\mathrm{ch}\sqrt{\frac{p}{D}}h+N_0(p)\,\mathrm{sh}\sqrt{\frac{p}{D}}h\right)\frac{1}{\sqrt{l}}+$$
$$+\sum_{k=1}^{\infty}\sqrt{\frac{p}{D}+\mu_k^2}\left(M_k(p)\,\mathrm{ch}\sqrt{\frac{p}{D}+\mu_k^2}\,h+N_k(p)\,\mathrm{sh}\sqrt{\frac{p}{D}+\mu_k^2}\,h\right)X_k(x). \quad (24)$$

Применяя к (23) стандартную процедуру поиска коэффициентов разложения Фурье, получаем:

$$M_0(p)=\frac{N\dot{I}_2(p)}{a\sqrt{l}\cdot\sqrt{\frac{p}{D}}}, \quad (25)$$

$$M_k(p)=0,\ k=1,2,\ldots \quad (26)$$

Разложение (24) с учётом (25) и (26) принимает вид

$$N\dot{\delta}(x;p)=\sqrt{\frac{p}{D}}\left(\frac{N\dot{I}_2(p)}{a\sqrt{l}\sqrt{\frac{p}{D}}}\,\mathrm{ch}\sqrt{\frac{p}{D}}h+N_0(p)\,\mathrm{sh}\sqrt{\frac{p}{D}}h\right)\frac{1}{\sqrt{l}}+\sum_{k=1}^{\infty}\sqrt{\frac{p}{D}+\mu_k^2}N_k(p)\,\mathrm{sh}\sqrt{\frac{p}{D}+\mu_k^2}\,hX_k(x). \quad (27)$$

Из (27) с использованием выше приведённой процедуры поиска коэффициентов имеем:

$$N_0(p)=N\frac{\beta_0(p)-\frac{\dot{I}_2(p)}{a\sqrt{l}}\,\mathrm{ch}\sqrt{\frac{p}{D}}h}{\sqrt{\frac{p}{D}}\,\mathrm{sh}\sqrt{\frac{p}{D}}h},$$

$$N_k(p)=\frac{N\beta_k(p)}{\sqrt{\frac{p}{D}+\mu_k^2}\,\mathrm{sh}\sqrt{\frac{p}{D}+\mu_k^2}\,h},$$

где неизвестные коэффициенты разложения $\beta_0(p), \beta_k(p)$ в ряде Фурье неизвестной плотности тока $\dot{\delta}(x;p)$ определяются соотношениями:

$$\beta_0(p)=\int_0^l \dot{\delta}(x;p)\frac{1}{\sqrt{l}}dx, \qquad \beta_k(p)=\int_0^l \dot{\delta}(x;p)X_k(p)dx.$$

Эти коэффициенты могут быть найдены только в результате совместного рассмотрения концентрационного и электрического полей в УЭХС, что будет сделано далее.

Подставим найденные коэффициенты $M_0(p), N_0(p)$ и $N_k(p)$ в выражение (19).

$$\begin{aligned}\dot{u}(x;y;p)=&\left(\frac{N\beta_0(p)}{\sqrt{\frac{p}{D}}\,\mathrm{sh}\sqrt{\frac{p}{D}}h}\mathrm{ch}\sqrt{\frac{p}{D}}y-\frac{N\dot{I}_2(p)}{a\sqrt{l}\cdot\sqrt{\frac{p}{D}}\,\mathrm{sh}\sqrt{\frac{p}{D}}h}\mathrm{ch}\sqrt{\frac{p}{D}}(h-y)\right)\frac{1}{\sqrt{l}}+\\&+\sum_{k=1}^{\infty}\frac{N\beta_k(p)}{\sqrt{\frac{p}{D}+\mu_k^2}\,\mathrm{sh}\sqrt{\frac{p}{D}+\mu_k^2}\,h}\mathrm{ch}\sqrt{\frac{p}{D}+\mu_k^2}\,y\cdot X_k(x).\end{aligned}\tag{28}$$

Подставляя выражение (28) в (13), находим аналитическое описание концентрационного поля электролита.

$$\begin{aligned}\dot{C}(x;y;p)=\frac{C_0}{p}+&\left(\frac{N\beta_0(p)}{\sqrt{\frac{p}{D}}\,\mathrm{sh}\sqrt{\frac{p}{D}}h}\mathrm{ch}\sqrt{\frac{p}{D}}y-\frac{N\dot{I}_2(p)}{a\sqrt{l}\cdot\sqrt{\frac{p}{D}}\,\mathrm{sh}\sqrt{\frac{p}{D}}h}\mathrm{ch}\sqrt{\frac{p}{D}}(h-y)\right)\frac{1}{\sqrt{l}}+\\&+\sum_{k=1}^{\infty}\frac{N\beta_k(p)}{\sqrt{\frac{p}{D}+\mu_k^2}\,\mathrm{sh}\sqrt{\frac{p}{D}+\mu_k^2}\,h}\mathrm{ch}\sqrt{\frac{p}{D}+\mu_k^2}\,y\cdot X_k(x).\end{aligned}\tag{29}$$

С помощью полученной формулы (29) можно на данном этапе получить явное выражение для расчёта концентрационного поля лишь при равномерном распределении плотности тока на подложке, когда

$$\dot{\delta}(x;p)=\frac{\dot{I}_2(p)}{al},\tag{30}$$

а разложение этой плотности в ряд Фурье

$$\frac{\dot{I}_2(p)}{al}=\sum_{k=0}^{\infty}\beta_k(p)X_k(x)$$

приводит к таким результатам:

$$\beta_0(p)=\frac{\dot{I}_2(p)}{a\sqrt{l}},\tag{31}$$

$$\beta_k(p)=0, \quad k=1,2,\ldots \tag{32}$$

Подстановка (31) и (32) в (29) окончательно определяет концентрационное поле электролита при равномерном распределении плотности тока:

$$\dot{C}(y;p)=\frac{C_0}{p}+\dot{I}_2(p)\frac{N}{al\sqrt{\frac{p}{D}}\operatorname{ch}\sqrt{\frac{p}{D}}\frac{h}{2}}\operatorname{sh}\sqrt{\frac{p}{D}}\left(y-\frac{h}{2}\right) \tag{33}$$

При включении входной цепи УЭХС на постоянный ток I_0

$$\dot{I}_2(p)=\frac{I_0}{p}. \tag{34}$$

Подставим (34) в (33).

$$\dot{C}(y;p)=\frac{C_0}{p}+I_0\frac{N}{alp\sqrt{\frac{p}{D}}\operatorname{ch}\sqrt{\frac{p}{D}}\frac{h}{2}}\operatorname{sh}\sqrt{\frac{p}{D}}\left(y-\frac{h}{2}\right). \tag{35}$$

Для обращения $\dot{C}(y;p)$ рассмотрим вспомогательные функции:

$$F_1(y;p)=\frac{\operatorname{sh}\sqrt{\frac{p}{D}}\left(y-\frac{h}{2}\right)}{\sqrt{\frac{p}{D}}\operatorname{ch}\sqrt{\frac{p}{D}}\frac{h}{2}}, \tag{36}$$

$$\dot{F}_2(y;p)=\frac{\dot{F}_1(y;p)}{p}. \tag{37}$$

Для поиска оригинала $f_1(y;t) \risingdotseq \dot{F}_1(y;p)$ найдём вначале полюса $\dot{F}_1(y;p)$. Очевидно, что число $p = 0$ не является таким полюсом. Эти полюса определяют из условия

$$\operatorname{ch}\sqrt{\frac{p}{D}}\frac{h}{2}=0. \tag{38}$$

Для решения уравнения (38) введём новую переменную z по правилу

$$\sqrt{\frac{p}{D}}\frac{h}{2}=jz, \tag{39}$$

где $j=\sqrt{-1}$. Подставим (39) в (38). Получим уравнение $\operatorname{ch} jz=0$, которое равносильно уравнению $\cos z=0$.

Корни последнего уравнения имеют вид:

$$z_k=(2k+1)\frac{\pi}{2}, \quad k\in Z. \tag{40}$$

Подстановка (40) в (39) определяет полюса $\dot{F}_1(y;p)$:

$$p_k=-\frac{(2k+1)^2\pi^2 D}{h^2}, \quad k\in Z. \tag{41}$$

Далее находим вычеты

$$\operatorname*{Res}_{p_k}\left\{\dot F_1(y;p)e^{pt}\right\}=\left.\frac{\operatorname{sh}\sqrt{\frac{p}{D}}\left(y-\frac{h}{2}\right)e^{pt}}{\frac{d}{dp}\left(\sqrt{\frac{p}{D}}\operatorname{ch}\sqrt{\frac{p}{D}}\frac{h}{2}\right)}\right|_{p_k}=\left.\frac{\operatorname{sh}\sqrt{\frac{p}{D}}\left(y-\frac{h}{2}\right)e^{pt}}{\frac{1}{2\sqrt{\frac{p}{D}}}\frac{1}{D}\operatorname{ch}\sqrt{\frac{p}{D}}\frac{h}{2}+\sqrt{\frac{p}{D}}\operatorname{sh}\sqrt{\frac{p}{D}}\frac{h}{2}\frac{h}{2}\frac{1}{2\sqrt{\frac{p}{D}}}\frac{1}{D}}\right|_{p_k}=$$

$$=\frac{e^{p_k t}\operatorname{sh}\left(j(2k+1)\frac{\pi}{h}\left(y-\frac{h}{2}\right)\right)}{\frac{h}{4D}\operatorname{sh}\left(j(2k+1)\frac{\pi}{2}\right)}=\frac{4D}{h}\frac{\sin\left((2k+1)\frac{\pi}{h}\left(y-\frac{h}{2}\right)\right)}{\sin\left((2k+1)\frac{\pi}{2}\right)}e^{-\frac{(2k+1)^2\pi^2D}{h^2}t}.$$

Оригинал $f_1(y;t)$ находят по схеме

$$f_1(y;t)=\sum_{k=0}^{\infty}\operatorname*{Res}_{p_k}\left\{e^{pt}\dot F_1(y;p)\right\}. \tag{42}$$

Запись (42) в развёрнутом виде даёт такой результат:

$$f_1(y;t)=\frac{4D}{h}\sum_{k=0}^{\infty}\frac{\sin\left((2k+1)\frac{\pi}{h}\left(y-\frac{h}{2}\right)\right)}{\sin(2k+1)\frac{\pi}{2}}e^{-\frac{(2k+1)^2\pi^2D}{h^2}t}. \tag{43}$$

Оригинал $f_2(y;t)\;\dot{=}\;\dot F_2(y;p)$ находят, интегрируя (43) по времени в пределах от 0 до *t*.

$$f_2(y;t)=\frac{4h}{\pi^2}\sum_{k=0}^{\infty}\frac{\sin\left((2k+1)\frac{\pi}{h}\left(y-\frac{h}{2}\right)\right)}{(2k+1)^2\sin(2k+1)\frac{\pi}{2}}\left(1-e^{-\frac{(2k+1)^2\pi^2D}{h^2}t}\right). \tag{44}$$

Оригинал концентрации $C(y;t)$ связан с $f_2(y;t)$ соотношением

$$C(y;t)=C_0+I_0\frac{N}{al}f_2(y;t). \tag{45}$$

Подставим (44) в (45).

$$C(y;t)=C_0\frac{4hN}{\pi^2 al}I_0\sum_{k=0}^{\infty}\frac{\sin\left((2k+1)\frac{\pi}{h}\left(y-\frac{h}{2}\right)\right)}{(2k+1)^2\sin(2k+1)\frac{\pi}{2}}\left(1-e^{-\frac{(2k+1)^2\pi^2D}{h^2}t}\right) \tag{46}$$

Полученное выражение для $C(y;\ t)$ позволяет с любой степенью точности построить поверхность изменения концентрации электролита в УЭХС.

При расчётах по последней формуле бесконечный ряд заменяется конечной суммой. Число слагаемых M в ней задаётся погрешностью расчёта концентрации Δ. Обозначая разницу между точным значением концентрации и приближённым символом R_M, получим:

$$R_M = \frac{4hN}{\pi^2 al} I_0 \sum_{k=M+1}^{\infty} \frac{\sin\left((2k+1)\frac{\pi}{h}\left(y-\frac{h}{2}\right)\right)}{(2k+1)^2 \sin(2k+1)\frac{\pi}{2}} \left(1-e^{-\frac{(2k+1)^2\pi^2 D}{h^2}t}\right). \quad (47)$$

Потребуем, чтобы

$$|R_M| \le \Delta. \quad (48)$$

Рассмотрим вспомогательный ряд

$$\frac{4hN}{\pi^2 al} I_0 \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{(2k+1)^2}.$$

Между его остатком $Q_M = \frac{4hN}{\pi^2 al} I_0 \sum_{k=M+1}^{\infty} \frac{1}{(2k+1)^2}$ и R_M существует соотношение $|R_M| \le Q_M$.

Поэтому, если выполнить условие $Q_M \le \Delta$, то с гарантией будет выполнено и требование (48). Для остатка Q_M справедлива интегральная оценка [2]:

$$Q_M \le \frac{4hN}{\pi^2 al} I_0 \int_M^{\infty} \frac{1}{S^2} ds = \frac{4hN}{\pi^2 al} I_0 \frac{1}{M}.$$

Число M определяется как решение неравенства

$$\frac{4hN}{\pi^2 al} I_0 \frac{1}{M} \le \Delta.$$

При исходных данных h = 0,01 м; a = 0,015 м; l = 0,08 м; I_0 = 0,2 А; $C_0 = 3$ кмоль/м^3, N = 5,45 (кмоль/м^3)м·А$^{-1}$; $\Delta = 1 \cdot 10^{-3}$ кмоль/м^3 были рассчитаны концентрационные профили $C(y;\ t_0)$ (см. рис. 2) и временные зависимости $C(y_0;\ t)$ (рис. 3) соответственно при фиксированных t_0 и y_0.

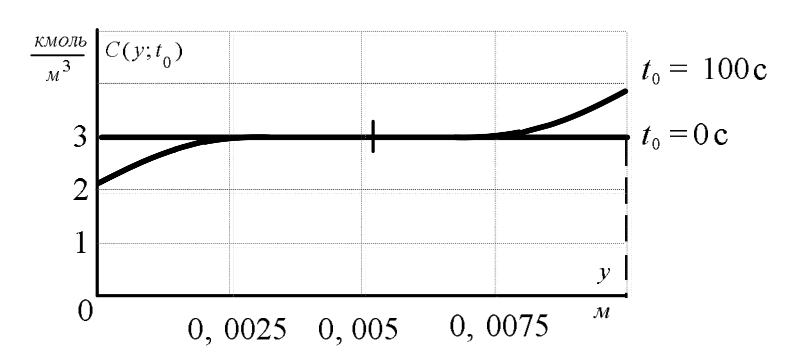


Рис. 2. Концентрационные профили электролита

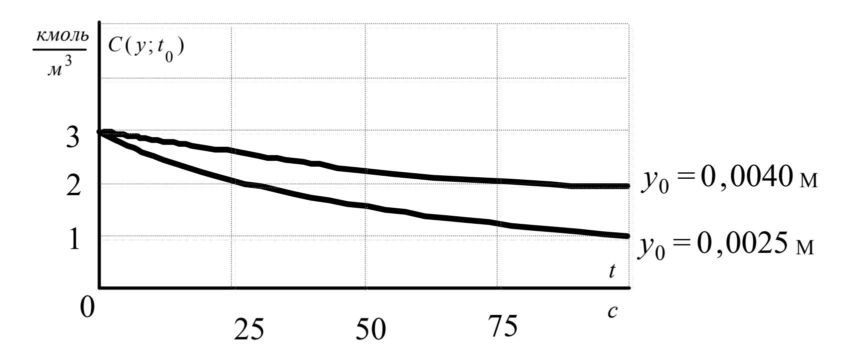


Рис. 3. Временные зависимости концентрации электролита

Заключение. Полученная математическая модель концентрационного поля электролита в УЭХС успешно может быть использована для расчёта режимов электрохимического осаждения металла на его боковую поверхность. Сопряжение этой модели с описанием электрического поля позволяет получить математическую модель УЭХС как элемента электрической цепи.

Библиографический список

1. Полянин, А. Д. Справочник по линейным уравнениям математической физики / А. Д. Полянин. — Москва: Физико-математическая литература, 2001. — 576 с.

2. Градштейн, И. С. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений / И. С. Градштейн, И. М. Рыжик. — Москва: Наука, 1971. — 1008 с.

Материал поступил в редакцию 02.11.2011.

References

1. Polyanin, A. D. Spravochnik po linejny`m uravneniyam matematicheskoj fiziki / A. D. Polyanin. — Moskva: Fiziko-matematicheskaya literatura, 2001. — 576 s. — In Russian.

2. Gradshtejn, I. S. Tablicy` integralov, summ, ryadov i proizvedenij / I. S. Gradshtejn, I. M. Ry`zhik. — Moskva: Nauka, 1971. — 1008 s. — In Russian.

MATHEMATICAL SIMULATION OF ELECTROLYTE CONCENTRATION FIELD IN CONTROLLABLE ELECTROCHEMICAL RESISTANCE

T. P. Skakunova, Y. Y. Gerasimenko

(Don State Technical University)

The initial boundary value problem on the mathematical simulation of the electrolyte concentration field in the controllable electrochemical resistance (CER) with plane electrodes is considered and solved. The model permits to conduct a complete research of the electrochemical processes in full-blast CER. The check computation of space-time concentration distribution at the constant control current of CER is performed.

Keywords: *boundary conditions, parabolic diffusion equation, electric current density, concentration distribution, differential equation, portrayal of concentration.*

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 62-791.2

Измерение крутящего момента на вращающихся валах

В. Л. Гапонов, А. С. Гуринов, В. В. Дудник
(Донской государственный технический университет)

Представлено устройство измерения крутящего момента на вращающихся валах различных технических систем. Устройство выполнено на основе цифрового радиоканала. Описана методика калибровки устройства и даны примеры измерений на валах различных механизмов.
Ключевые слова: *тензометрия, крутящий момент, цифровой радиоканал.*

Введение. Крутящий момент на валах технических устройств является важной характеристикой, которая определяет границы применимости и эффективность использования механизмов. Измерение его, особенно на вращающихся валах подвижных устройств — сложная техническая задача, для решения которой в мире разработано значительное количество моделей с разными принципами действия. В некоторых случаях определение крутящего момента, а соответственно и мощности объекта, осуществляется по опосредованным показателям. Например, в автомобилях его могут определять по подаче топлива, температуре выхлопных газов и другим показаниям. Такой подход не позволяет с высокой степенью достоверности определить потребную мощность. Точное измерение момента осуществляют с помощью систем, определяющих крутящую деформацию вала, однако такие системы бывают весьма сложны.

Измерение крутящего момента на валу. Одним из распространённых методов измерения деформации вала является использование тензометрического моста [1]. В этом случае на вал наклеиваются тензометры сопротивления под углом 45° к оси вращения, электрически соединённые по мостовой схеме. Применение этой схемы увеличивает чувствительность, улучшает линейность получаемой характеристики, значительно уменьшает влияние температуры на величину выходного сигнала. Кроме того, преимуществом моста является то, что с его помощью измеряется только изменение, а не общее сопротивление.

Основную сложность в устройстве, использующем тензометры, представляет собой передача данных о сопротивлении чувствительных элементов с вращающегося вала потребителю. Долгое время для этого использовались контактные, индукционные, светотехнические и другие устройства. Современное развитие электроники позволяет с помощью цифрового радиоканала сделать передачу данных максимально простой. Малогабаритный радиопередатчик может быть установлен непосредственно на вращающемся валу и передавать параметры на невращающийся приёмник. Использование миниатюрных передатчиков позволяет определять крутящие моменты сразу на нескольких валах, передавая информацию на один приёмник.

Модель, использующая тензометрические устройства и цифровой радиоканал, была реализована авторами и испытана на ряде механизмов. В качестве передатчика использовался готовый приёмопередающий радиомодуль DP1201A. Он представляет собой функционально завершённое устройство, устанавливаемое на плату микроконтроллера. Имея малые характеристики энергопотребления (типичное значение тока потребления в режиме ожидания составляет 0,2 мкА), передатчик оптимизирован для приложений, предъявляющих к компонентам такие требования, как небольшие размеры, низкая стоимость и цифровой интерфейс. В составе радиомо-

дуля применяется интегрированный полудуплексный трансивер, работающий в частотном диапазоне 433 МГц. Встроенный синхронизатор данных позволяет подключать простые микроконтроллеры с минимальными схемотехническими затратами. Управление передатчиком осуществлялось по последовательному периферийному интерфейсу SPI. SPI является синхронным интерфейсом, в котором любая передача синхронизирована с общим тактовым сигналом, генерируемым процессором. В качестве управляющего процессора использовали ADUC7061. Это связано с тем, что он имеет встроенное 24-битный АЦП, что позволяет избежать установки дополнительного преобразователя. Также к положительным сторонам данного микроконтроллера можно отнести малое напряжение питания — 2,5 В, что понизит общее напряжение питания и размеры батареи на вращающемся валу.

В состав радиоприёмника, так же как и радиопередатчика, входит настроенный на приём данных радиомодуль DP1201A (рис. 1). Так как для радиоприёмника АЦП не требуется, в качестве управляющего процессора использовался PIC16F876A. Он, так же как и ADUC7061, имеет малые габариты и последовательный периферийный интерфейс SPI. Принятые и обработанные процессором данные передаются на систему измерений.

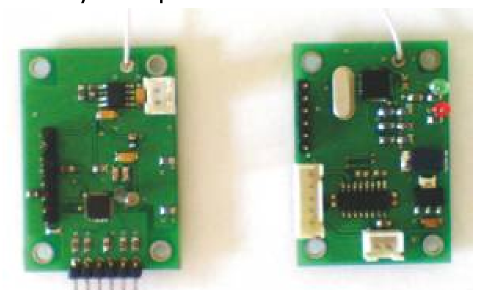


Рис. 1. Внешний вид плат передатчика и приёмника измерителя крутящего момента

Общая схема работы измерителя крутящего момента представлена на рис. 2. Дальность действия цифрового радиоканала составляет около 100 м, что вполне достаточно для снятия характеристик при установке приёмника на неподвижное основание или невращающуюся часть транспортного средства.

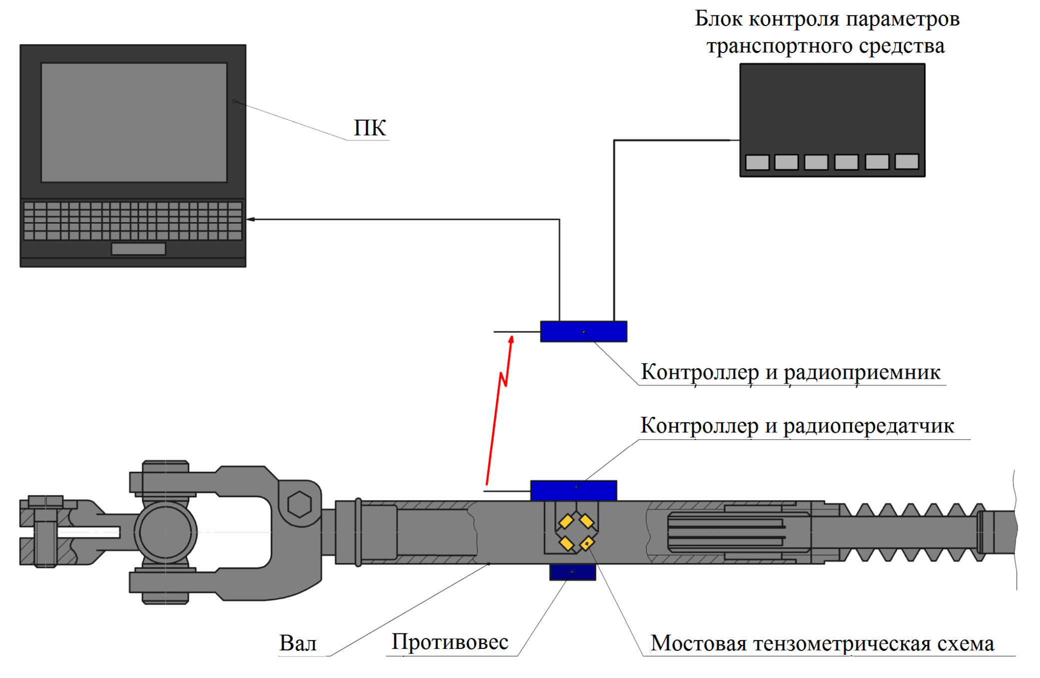


Рис. 2. Общая схема работы измерителя крутящего момента

Как видно из рис. 2, сверху вала установлен передатчик, а снизу батарея питания, которая компенсирует массу передатчика. Рядом на валу приклеен тензомост, состоящий из 4 тензорезисторов, соединённых с передатчиком. При наклейке тензометров необходимо учитывать, что для качественного измерения на расстоянии 20 мм слева и справа от площадки наклейки тензорезисторов не должно быть изменений формы или толщины вала. В целом измеритель крутящего момента имеет незначительные размеры и вес, позволяющие устанавливать его на валы промышленного оборудования, транспортные средства и другие устройства.

Для калибровки датчиков создана программа, которая по нескольким точкам с известным нагружением выстраивает зависимость для всего моментного диапазона. Крутящий момент, в свою очередь, можно задавать или тарированными весами, устанавливаемыми на замеренном плече, или растягивающим устройством (например, лебёдкой) с использованием динамометра. При наличии на валу растягивающих усилий целесообразно калибровать отдельный тензометр, который рассчитан на учёт только растягивающих усилий. В таком случае калибровка происходит в два этапа.

1. На валу создаются только растягивающие усилия. Величина усилий с линейного тензодатчика и тензомоста крутящего момента заносится в контроллер передатчика. По полученным значениям непосредственно в цифровых кодах строится зависимость показаний тензомоста от растягивающего тензометра.
2. На валу создаётся крутящий момент. Считывается и фиксируется величина кодов АЦП, приходящая с тензомоста.

Программа калибровки готовит данные для определения крутящего момента. Само программное обеспечение предусматривает два алгоритма дальнейшего пересчёта данных. В соответствие с первым строится линейная зависимость коэффициента калибровки:

$$k = \frac{M}{m - \Delta m(l)}, \tag{1}$$

где M — значение задаваемых моментов, m — коды АЦП, приходящие с тензомоста, $\Delta m(l)$ — поправочная величина момента, определяемая по калибровочным данным тензомоста, зависящего от линейной деформации.

В соответствии со вторым методом строится нелинейная зависимость. В этом случае целесообразно аппроксимировать экспериментальные значения методом наименьших квадратов невязок. Зависимость момента от калибровочных коэффициентов A_0, A_1 определяется полиномом первой степени:

$$M = A_0 + A_1\left(m - \Delta m(l)\right). \tag{2}$$

Задача заключается в том, чтобы определить такие значения коэффициентов A_0, A_1, при которых кривая как можно ближе проходила бы от всех n точек, определённых при калибровке (M_1, m_1); (M_2, m_2); …; (M_n, m_n), найденных экспериментально [2].

В данном случае нельзя найти такую кривую, которая проходила бы через все заданные точки. Более того, ни одна из рассматриваемых точек не удовлетворяет точно уравнению, и если подставить в него координаты этих точек, то получается следующая система:

$$\left.\begin{array}{l} A_0 + A_1 m_1 - M_1 = \delta_1 \\ A_0 + A_1 m_2 - M_2 = \delta_2 \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ A_0 + A_1 m_n - M_n = \delta_n \end{array}\right\}, \tag{3}$$

где δ_1, δ_2, …, δ_n — невязки.

Согласно принципу наименьших квадратов, наилучшими значениями коэффициентов A_0, A_1 будут те, для которых сумма квадратов невязок наименьшая, т. е. значение $\sum_{k=1}^{K}\delta_k^2$ имеет минимум.

Таким образом, величина

$$\sum_{k=1}^{n}\left(A_0 + A_1 m_k - M_k\right)^2 = F\left(A_0, A_1\right), \quad (4)$$

которая рассматривается как функция коэффициентов A_0, A_1 должна иметь минимум. Необходимое условие минимума функции многих переменных заключается в том, что все её частные производные должны равняться нулю. Дифференцирование обеих частей уравнения приводит к системе уравнений

$$\left.\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial A_0} &= 2\sum_{k=1}^{n}\left(A_0 + A_1 m_k - M_k\right) = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial A_1} &= 2\sum_{k=1}^{n}\left(A_0 + A_1 m_k - M_k\right) m_k = 0 \end{aligned}\right\}. \quad (5)$$

Следовательно, вместо исходной системы, которая есть система несовместная, так как имеет n уравнений с двумя неизвестными ($n > 1$), получается система линейных уравнений с коэффициентами A_0, A_1. Так как система (5) найдена дифференцированием выражения (4) по неизвестным коэффициентам A_0, A_1, то в ней при любом $n > 1$ число уравнений точно равно числу неизвестных.

Преобразуя систему (5) к виду, более удобному для её решения, воспользовавшись вместо обозначений $\sum_{k=1}^{n} m_k$, $\sum_{k=1}^{n} m_k^2$ обозначениями, введёнными Гауссом, получаем:

$$\begin{aligned} \left[m\right] &= m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + \ldots + m_n, \\ \left[m^2\right] &= m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2 + \ldots + m_n^2. \end{aligned} \quad (6)$$

Тогда система (5) после сокращения всех уравнений на 2 и перегруппирования членов принимает вид:

$$\left.\begin{aligned} nA_0 + \left[m\right]A_1 &= \left[M\right] \\ \left[m\right]A_0 + \left[m^2\right]A_1 &= \left[mM\right] \end{aligned}\right\}. \quad (7)$$

Поскольку A_0, A_1 относительно рассматриваемых сумм есть величины постоянные, то, согласно свойству сумм, из первого уравнения системы (5) получается следующее выражение:

$$\sum_{k=1}^{n}\left(A_0 + A_1 m_k - M_k\right) = \sum_{k=1}^{n} A_0 + A_1\sum_{k=1}^{n} m_k - \sum_{k=1}^{n} M_k = nA_0 + \left[m\right]A_1 - \left[M\right] = 0, \quad (8)$$

т. е. первое уравнение системы (7). Все остальные уравнения системы (5) преобразуются аналогично. Коэффициенты этих уравнений вычисляются по известным координатам заданных точек (m_1, M_1); (m_2, M_2); (m_3, M_3); …; (m_n, M_n).

Для решения данной системы уравнений использовался метод Гаусса — как наиболее удобный для машинного вычисления. При выполнении расчётов посредством последовательных исключений неизвестных данная система превращается в ступенчатую. Исходя из (7) составляется расширенная матрица системы следующего вида:

$$\begin{bmatrix} n & \left[m\right] & \left[M\right] \\ \left[m\right] & \left[m^2\right] & \left[mM\right] \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Точное решение для невырожденной матрицы находится за вполне определённое количество операций. При этом сначала выполняется прямой ход — расширенная матрица приводится к треугольному виду:

$$\begin{bmatrix} n & [m] & [M] \\ [m] & [m^2] & [mM] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & [m]^* & [M]^* \\ 0 & 1 & [mM]^{**} \end{bmatrix}. \tag{10}$$

Необходимое условие — отсутствие на диагонали матрицы нулевых элементов. После выполняется обратный ход — когда находятся все неизвестные вектора M, начиная с последнего. При прямом ходе первая строка расширенной матрицы делится на n:

$$n^* = \frac{n}{n},\ [m]^* = \frac{[m]}{n},\ [M]^* = \frac{[M]}{n}. \tag{11}$$

Последующее вычитание из второй строки расширенной матрицы произведения $[m]$ на изменённую первую строку матрицы:

$$\begin{bmatrix} [m] - n^*[m] & [m^2] - [m]^*[m] & [mM] - [M]^*[m] \end{bmatrix} \tag{12}$$

приводит к следующему виду матрицы:

$$\begin{bmatrix} 1 & [m]^* & [M]^* \\ 0 & [m^2]^* & [mM]^* \end{bmatrix}. \tag{13}$$

Делением второй строки на $[m^2]$ матрица приводится к верхнетреугольному виду:

$$\begin{bmatrix} 1 & [m]^* & [M]^* \\ 0 & 1 & [mM]^{**} \end{bmatrix}. \tag{14}$$

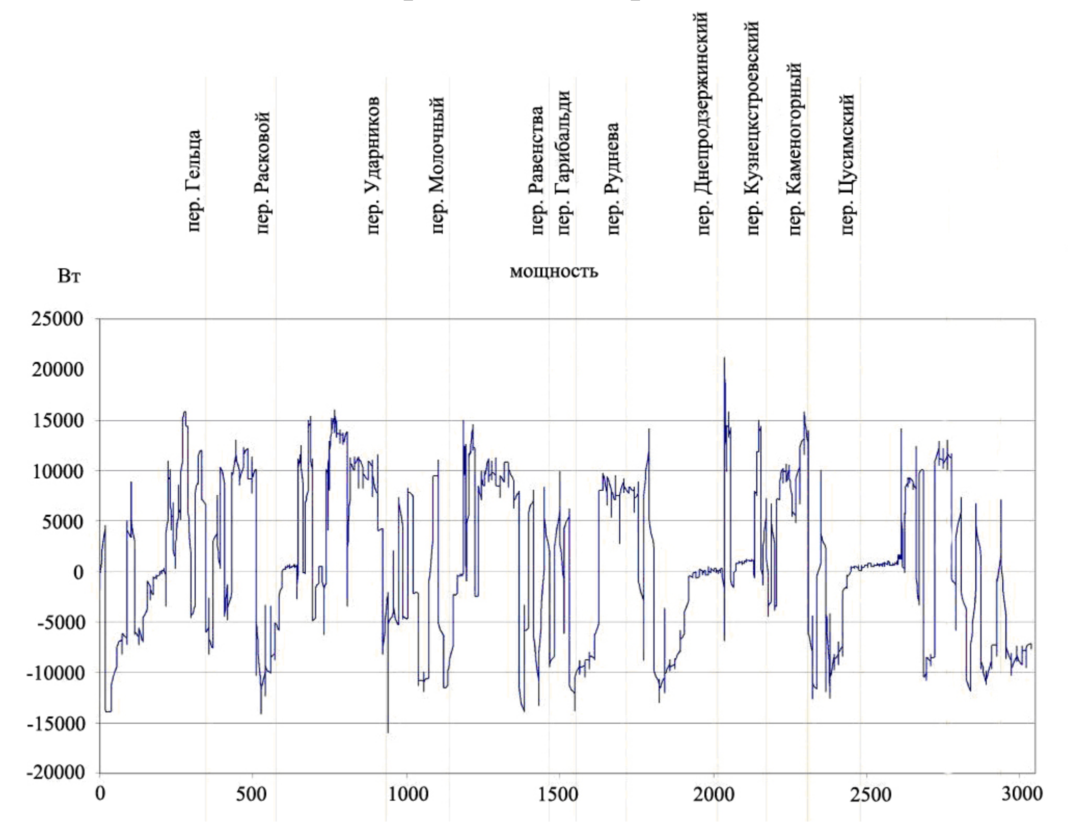


Рис. 3. Результаты измерения мощности с помощью датчика крутящего момента, установленного на трансмиссионном валу легкового автомобиля, движущегося в потоке транспорта по проспекту 40-летия Победы г. Ростова-на-Дону

После этого получается следующая система уравнений, эквивалентная исходной:

$$\left.\begin{aligned} A_0 + \left[m\right]^{*} A_1 &= \left[M\right]^{*} \\ A_1 &= \left[mM\right]^{**} \end{aligned}\right\}. \qquad (15)$$

Последовательно находятся корни A_0, A_1:

$$\begin{aligned} A_1 &= \left[mM\right]^{*} \\ A_0 &= \left[M\right]^{*} - \left[mM\right]^{**}. \end{aligned} \qquad (16)$$

Учитывая, что деформация, как правило, происходит в линейной зоне, аппроксимация по первому варианту, т. е. линейная, может быть принята вполне адекватной. Однако существуют погрешности, связанные с влиянием клея тензорезисторов, неточностью наклейки. Эти погрешности могут быть учтены путём калибровки.

Вследствие этого целесообразно применять следующий порядок использования датчиков. В случае, если при калибровке значения момента задаются в пределах, превышающих моменты, которые могут возникнуть на валу в режиме эксплуатации, то целесообразно использовать второй, нелинейный вариант расчёта. Если значения момента могут превысить калибровочные величины, необходимо применять линейный вариант расчёта. Точность при этом будет несколько ниже.

Предложенная методика позволяет успешно калибровать тензомосты для измерения не только крутящих моментов, но и изгибающих и растягивающих напряжений. Тензометры при этом наклеиваются вдоль линии растяжения-сжатия.

На основании данных алгоритмов была создана программа работы с датчиком крутящего момента, которая позволяет выбирать тот или иной метод пересчёта данных. В процессе работы данные могут передаваться непосредственно на монитор или на бортовой накопитель.

Для испытаний измерителя крутящего момента на различных объектах было изготовлено несколько тестовых комплектов устройств.

Один экземпляр был установлен на трансмиссионном валу заднеприводного автомобиля ВАЗ. Параллельно с крутящим моментом велась запись частоты вращения и координат спутниковой навигационной системы. Выполненные в г. Ростове-на-Дону и за городом замеры показали не только высокую эффективность измерения характеристик трансмиссии, но и позволили оценить потребную мощность автомобиля, движущегося в потоке транспорта в городе. Так, в городской черте потребная мощность практически не превышала 20 л. с. Пример записи мощности на валу на проспекте 40-летия Победы показан на рис. 3.

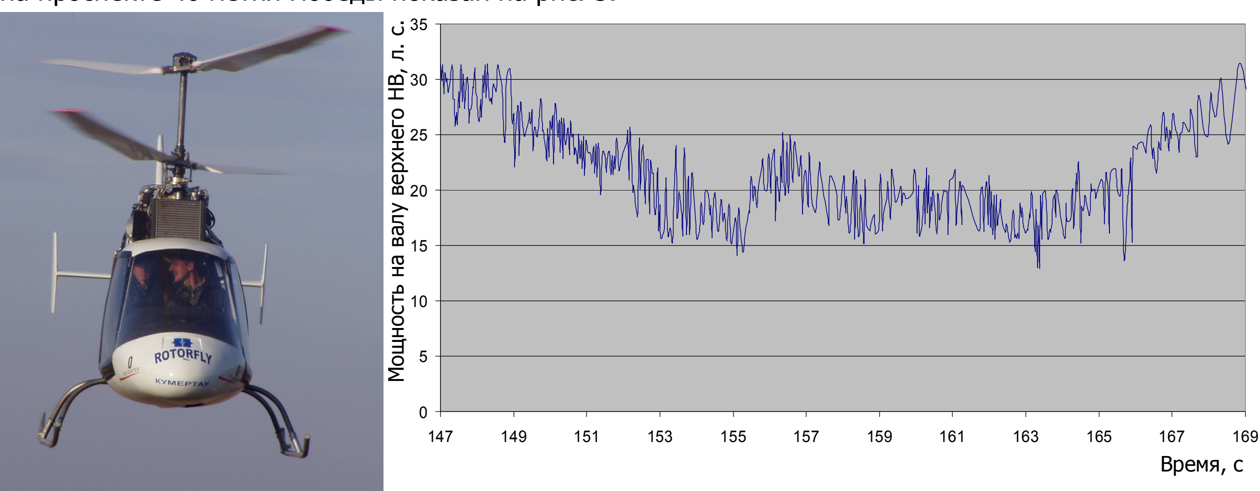
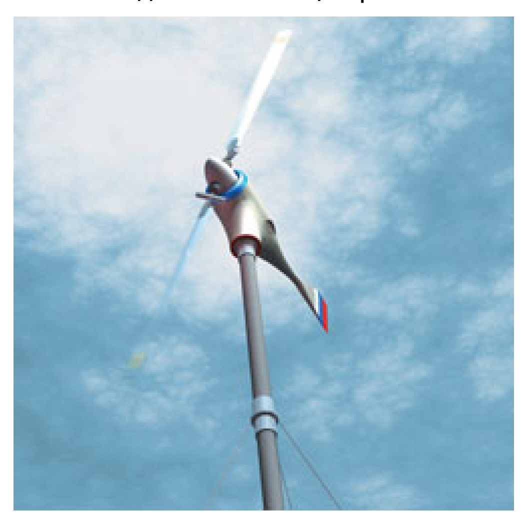


Рис. 4. Запись мощности на валу верхнего несущего винта сверхлёгкого соосного вертолёта «Роторфлай» на одном из режимов (в полёте с горизонтальной скоростью 70 км/ч с вертикальным снижением 2 м/с)

Ещё одно испытание датчика было выполнено на сверхлёгком соосном вертолёте «Ротор-флай». Измеритель крутящего момента, совмещённый с системой бортовых измерений, позволил оценить энергетические характеристики воздушного судна на различных режимах. Пример записи крутящего момента верхнего несущего винта с частотой дискретизации 32 Гц, пересчитанного в потребную мощность на валу для одного из режимов полёта, показан на рис. 4.

В настоящее время ведётся подготовка к использованию предложенного датчика крутящего момента для оптимизации работы малых ветроэнергетических установок (рис. 5).



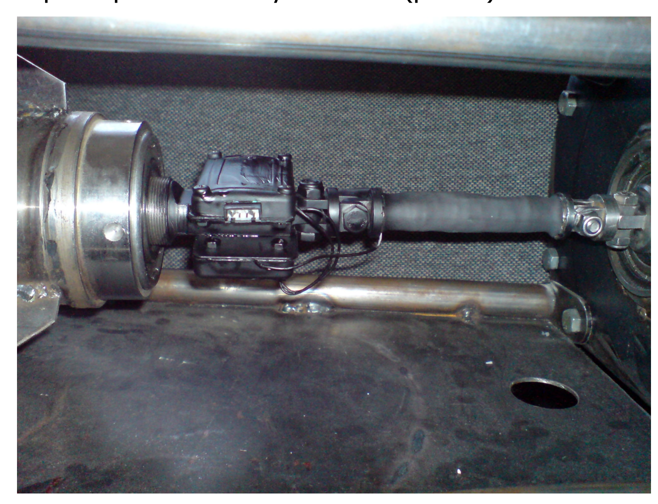


Рис. 5. Внешний вид двухлопастной ветроэнергетической установки (слева) и измеритель крутящего момента, установленный внутри гондолы (справа)

Эксперименты показывают, что использование тензомоста для измерения крутящего момента в сочетании с высокоразрядным АЦП и малогабаритным радиоканалом позволяет измерять практически неограниченный диапазон моментов на вращающихся валах. Он обнаруживает малейшее изменение момента на валу и продолжает измерять его вплоть до моментов, приложение которых разрушит вал.

Заключение. Таким образом, применение предложенного измерителя крутящего момента позволяет определять потребные мощности и нагрузки на вращающихся валах, даже на подвижных объектах. При этом нагрузки могут выходить за пределы зоны калибровки. Определение нагрузок в пределах величин калибровки с нелинейными алгоритмами позволяет учесть влияние различных факторов на погрешность и повысить точность измерений.

Библиографический список

1. Михеев, Р. А. Лётные прочностные испытания вертолётов / Р. А. Михеев, В. С. Лосев, А. В. Бубнов. — Москва: Машиностроение, 1987. — 126 с.

2. Фильчаков, П. Ф. Графические и численные методы прикладной математики / П. Ф. Фильчаков. — Киев: Наукова думка, 1970. — 770 с.

Материал поступил в редакцию 16.12.2011.

References

1. Mixeev, R. A. Lyotny`e prochnostny`e ispy`taniya vertolyotov / R. A. Mixeev, V. S. Losev, A. V. Bubnov. — Moskva: Mashinostroenie, 1987. — 126 s. — In Russian.

2. Fil`chakov, P. F. Graficheskie i chislenny`e metody` prikladnoj matematiki / P. F. Fil`chakov. — Kiev: Naukova dumka, 1970. — 770 s. — In Russian.

ROTARY SHAFT TORQUE READING

V. L. Gaponov, A. S. Gurinov, V. V. Dudnik
(Don State Technical University)

The device reading rotary shaft torque of various engineering systems is presented. The device is based on the digital radio channel. The calibration methods of the device are described. The case study on the shafts of various mechanisms is given.
Keywords: *tensometry, torque, digital radio channel.*

УДК 621.9.06:628.5

Влияние виброакустических характеристик силовых установок на уровни шума в кабинах плавучих кранов

Е. В. Егельская
(Донской государственный технический университет),
А. А. Короткий
(Южно-Российский государственный технический университет)

Приведены результаты экспериментальных исследований спектров шума в кабинах плавучих кранов при воздействии звукового излучения силовой установки двигателей внутреннего сгорания. Показаны частотные диапазоны, в которых уровни шума в кабинах превышают санитарные нормы.
Ключевые слова: *уровни шума, кабины, плавучие краны.*

Введение. Увеличение мощностей силовых установок технологических машин приводит к возрастанию акустических характеристик в кабинах на рабочих местах операторов. Двигатели внутреннего сгорания, широко распространены в различных типах машин, в том числе в стреловых и плавучих кранах. В силу специфических условий эксплуатации в них используются двигатели внутреннего сгорания повышенной мощности.

Результаты исследований. Экспериментальные исследования проводились на кранах с различной мощностью ДВС и частотой вращения: N = 135 кВт; n = 2100 об/мин; N = 85 кВт; n = 1500 об/мин; N = 195 кВт; n = 2100 об/мин; N = 75 кВт; n = 2000 об/мин; N = 55 кВт; n = 1700 об/мин.

Результаты измерений уровней звука в кабинах (дБА) приведены на рис. 1.

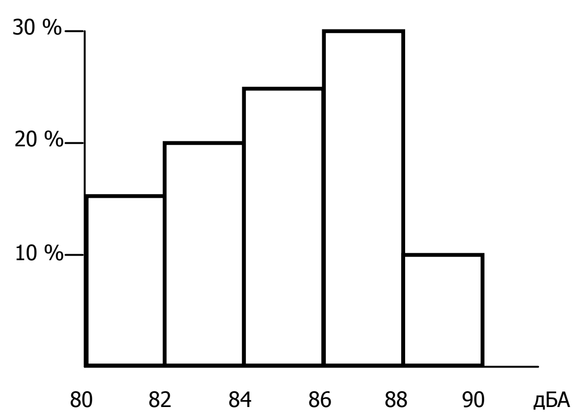


Рис. 1. Гистограмма распределения уровней звука в кабинах плавучих кранов

Фактически только 15 % кранов удовлетворяют санитарным нормам шума в кабинах на рабочих местах крановщиков (данные для кранов с двигателем мощностью 55 кВт). У 20 % кранов уровни звука превышают норматив на 2—4 дБА (мощность их силовой установки составляет 75 кВт). У 25 % кранов шум превышает санитарные нормы на 4—6 дБА (мощность их силовой установки — 85 кВт). У 30 % двигателей (максимальное количество обследованных) уровни звука в кабинах 86—88 дБА, что на 6—8 дБА превышает предельно допустимое значение (мощность силовой установки — 135 кВт). У 10 % кранов с силовой установкой мощностью 195 кВт превышение норматива по шуму в кабине достигает 10 дБА.

Измерения спектров шума показали, что у большинства типов кранов закономерности шумообразования в кабинах идентичны и различия (в основном) заключаются в интенсивности шу-

мообразования в соответствующих октавных интервалах. У кранов с мощностью силовой установки 55 кВт норматив шума не превышает предельно допустимых значений во всём нормируемом частотном диапазоне. В кранах с силовой установкой мощностью 75 кВт санитарные нормы превышаются на 2—3 дБ, что, в принципе, может быть объяснено погрешностью измерений.

Итак, спектральный состав шума в кабинах представлен для кранов с мощностью силовой установки 75 кВт и 135 кВт (рис. 2), поскольку большинство обследованных кранов имеет именно такой ДВС.

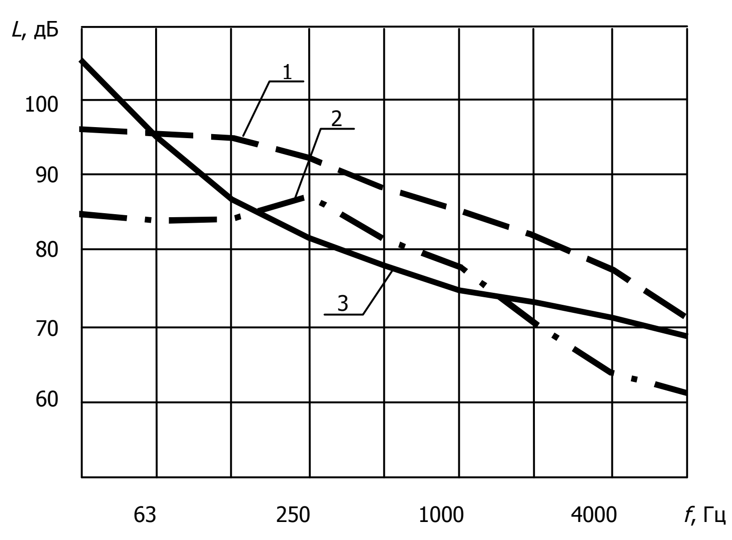


Рис. 2. Спектры шума в кабинах кранов: 1 — мощность 135 кВт, 2 — мощность 75 кВт, 3 — норматив

Анализ результатов измерений показал, что у кранов с мощностью силовой установки 75 кВт уровни звукового давления превышены в области частот 250—1000 Гц на 3—5 дБ (превышение уровня звукового давления на 5 дБ наблюдается в 4-й октаве). У кранов с мощностью двигателя 135 кВт уровни звукового давления превышают санитарные нормы на 3—10 дБ в широкой полосе частот 125—8000 Гц. В области частот 125—2000 Гц превышение фактических уровней шума над предельно допустимыми составляет 9—10 дБ. Влияние внешнего шумового фона на уровни шума в кабинах проверялось на примере мощного источника — сваебойного оборудования. Замеры шума в кабине проводились при неработающем двигателе (рис. 3).

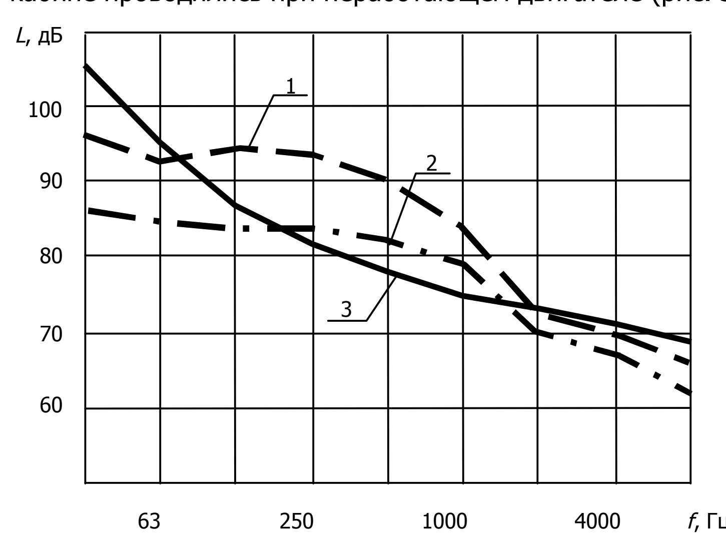


Рис. 3. Спектры шума в кабинах плавучих кранов: 1 — при работе сваебойного оборудования; 2 — внешний фон без сваебойного оборудования; 3 — норматив

При работе ДВС в 8-й, 9-й и 10-й октавах уровни звукового давления превышены на 3—9 дБ, а при воздействии внешних источников чисто воздушного шума в этих октавах уровни звукового давления ниже санитарных норм и на 12—15 дБ ниже, чем при работе ДВС. Эти данные позволяют предположить, что уровни шума в кабинах кранов формируются структурным и воздушным шумом. Значительное влияние структурной доли шума объясняется в первую очередь недостаточной виброизоляцией силовой установки и самой кабины, а также недостаточными диссипативными свойствами элементов ограждения кабины.

Результаты измерений шума двигателей приведены на рис. 4.

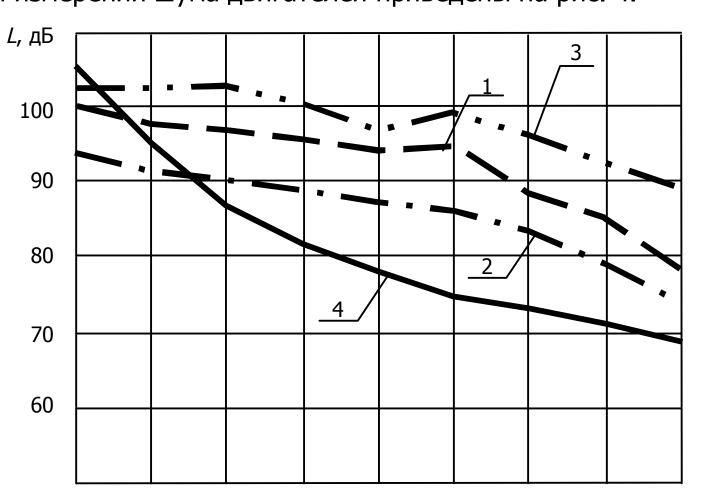


Рис. 4. Спектры шума двигателей: 1 — ЯМЗ-236 при закрытых шторках капота; 2 — ЯАЗ-М204А при закрытых шторках капота; 3 — ЯМЗ-236 при открытых шторках капота; 4 — предельный спектр

Силовая установка является мощным источником звукового излучения внешнего шума. Уровни звука достигают 108 дБА. Уровень звука выпуска достигает 110 дБ и 5—10 дБ в интервале частот 125—8000 Гц и превышает шум силовой установки. Характер спектров шума возле ДВС соответствует характеру спектра в кабине.

Акустическая эффективность капота невысока и составляет 6—10 дБ. Акустическая облицовка капота привела к снижению уровней шума на 4—5 дБА и не обеспечила санитарных норм шума в кабине.

Измерения проводились при неподвижном кране и показали, что уровни звукового давления в кабине также превышаются в широкой полосе частот 125—2000 Гц. Превышение санитарных норм составляет 4—7 дБ. Звукоизолирующая способность у такой кабины также недостаточна. Наиболее высокие уровни шума в кабине зафиксированы при движении крана.

В этом случае превышение уровней звукового давления составляет 4—12 дБ в широком частотном диапазоне 125—8000 Гц, достигая максимума 6—11 дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 500, 2000 Гц. Причём наблюдается увеличение уровней шума в высокочастотной части спектра 2000—8000 Гц.

Источники как структурного, так и воздушного шума значительно различаются по своим виброакустическим характеристикам. Поэтому результаты измерений шума в кабине статистически обрабатывались.

Неисключённая систематическая погрешность обусловливается:

– погрешностью измерительных приборов при измерении уровней соответственно звукового давления и виброскорости $\theta_{Ш}$ ($\theta_{В}$);

– погрешностью измерения $\theta_И$.

Погрешность измерительных приборов определяется их классом в соответствии с нормативно-технической документацией (паспортом, инструкцией по эксплуатации или поверочным свидетельством). Так как при измерении шума и вибрации использовали измерительный прибор ВШВ-003-Н2, то $\theta_Ш = \theta_В = \pm 8$ %.

Погрешность измерения $\theta_И$ обусловливается погрешностью измерения шума (вибрации), определяемой по формуле:

$$\theta_И = \sqrt{\frac{130}{L}}. \quad (1)$$

Неисключённая систематическая погрешность определяется по формуле:

$$\theta = \sqrt{\theta_Ш^2 + \theta_И^2}. \quad (2)$$

Для оценки случайной составляющей погрешности результата измерения проводилось по три наблюдения за звуковым давлением в заданных точках на минимальном, среднем и максимальном постоянных уровнях соответственно. При этом определяли:

– среднее арифметическое значение измеренных уровней звукового давления L, дБ;

– среднеквадратичное отклонение результата наблюдения по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{(L_1 - L)^2 + (L_2 - L)^2 + \ldots + (L_n - L)^2}{n - 1}}, \quad (3)$$

где n — число наблюдений;

– среднеквадратичное отклонение результата измерения по формуле:

$$S_L = \frac{100 S n^{-0,5}}{L}. \quad (4)$$

Случайную составляющую погрешности результата измерения находили по формуле:

$$\varepsilon = 3,182 \cdot S_L. \quad (5)$$

Для оценки суммарной погрешности результата измерения рассматривали величину:

$$\chi = \frac{\theta}{S_L}. \quad (6)$$

В случае если $\chi < 0,8$, то суммарную погрешность Δ принимали равной случайной составляющей погрешности ε, то есть $\Delta = \varepsilon$.

В случае если $\chi > 8,0$, то суммарную погрешность Δ принимали равной неисключённой составляющей погрешности θ.

Когда $0,8 < \chi < 8,0$, то погрешность результата измерений находили по формуле:

$$\Delta = K S_\Sigma, \quad (7)$$

$$S_\Sigma = \left(\frac{\theta_Ш^2}{3} + \frac{\theta_И^2}{3} + \frac{S^2}{L} \right)^{0,5}, \quad (8)$$

$$K = \frac{\varepsilon + \theta}{S_L + \left(\frac{\theta_Ш^2}{3} + \frac{\theta_И^2}{3} \right)^{0,5}}. \quad (9)$$

Результаты оценки погрешности измерений уровней звукового давления представлены в табл.

Оценка погрешности результатов измерений уровней звукового давления

№ октавы	Номер наблюдения, i	Уровень звукового давления, L_i, дБ	Среднее арифметическое, L, дБ	$\|\Delta L_i\| = \|L_i - L\|$	$(\Delta L_i)^2$	Среднеквадратичное отклонение результата наблюдения, S	Среднеквадратичное отклонение результата измерения, S_L	Случайная составляющая погрешности, ε	Неисключённая систематическая погрешность, θ	Оценка, χ	Погрешность измерения, Δ, %
5	1	96	95	1	1	1	0,6	1,93	1,17	1,95	1,66
	2	94		1	1						
	3	95		0	0						

Заключение. Обработка экспериментальных данных показала, что относительная погрешность измерений уровней звукового давления составляет 1,66 %. Статистическая обработка экспериментальных данных показала высокую достоверность проведённых экспериментальных исследований, что и является основой для выбора технических решений по снижению уровней вибрации и шума.

Библиографический список

1. Шамшура, С. А. Совершенствование методов расчёта виброакустических характеристик процесса виброударного упрочнения деталей на однокоординатных станках с целью обеспечения промышленной безопасности оборудования (на примере лонжеронов транспортных вертолётов) / С. А. Шамшура, А. Н. Чукарин. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2007. — 120 с.

Материал поступил 10.10.2011.

References

1. Shamshura, S. A. Sovershenstvovanie metodov raschyota vibroakusticheskix xarakteristik processa vibroudarnogo uprochneniya detalej na odnokoordinatny`x stankax s cel`yu obespecheniya promy`shlennoj bezopasnosti oborudovaniya (na primere lonzheronov transportny`x vertolyotov) / S. A. Shamshura, A. N. Chukarin. — Rostov-na-Donu: Izd. centr DGTU, 2007. — 120 s. — In Russian.

POWER-PLANT VIBROACOUSTICS IMPACT ON NOISE LEVELS IN FLOATING CRANE CABINS

E. V. Yegelskaya, A. A. Korotkiy
(Don State Technical University)

The experimental results of the noise spectra in the floating crane cabins under the sound radiation of the IC engine power-plant are presented. The frequency ranges when noise levels in the cabins exceed the sanitary norms are shown.

Keywords: *noise levels, cabins, floating cranes.*

УДК 658.516.3:621

Динамическая диагностика процесса обработки методами поверхностного пластического деформирования

В. Л. Заковоротный, В. С. Минаков, М. М. Ханукаев
(Донской государственный технический университет)

Рассматривается процесс выглаживания. В зависимости от внедрения выглаживателя в обрабатываемую поверхность изменяется уравнение в вариациях относительно точки равновесия процесса выглаживания. Для обеспечения рациональных параметров настройки процесса предлагается метод, основанный на анализе сигнала виброакустической эмиссии, в котором отображаются параметры градиента физико-механических свойств поверхностного слоя.
Ключевые слова: *процесс выглаживания, градиентные свойства, динамика, виброакустическая эмиссия.*

Введение. Методы поверхностного пластического деформирования деталей для повышения их эксплуатационных свойств являются достаточно распространёнными в технологии машиностроения [1]. Один из примеров таких технологий — процесс выглаживания алмазными инструментами [2]. В результате алмазного выглаживания изменяются свойства микрорельефа поверхности, распределение остаточных напряжений в поверхностном слое, микротвёрдость и её распределение по толщине приповерхностного слоя и др. Таким образом, в приповерхностном слое формируются функционально градиентные структуры, характеризуемые, например, изменением параметров матрицы жёсткости в зависимости от сближения контактирующих поверхностей. При варьировании технологических режимов, геометрии наконечника алмазного выглаживающего инструмента, физико-механических свойств материала детали, шероховатости обрабатываемой детали и пр. обработанные поверхности могут обладать повышенной коррозионной и износостойкостью, контактной выносливостью и пр. Однако улучшение эксплуатационных характеристик деталей в этом случае зависит от динамики контактного взаимодействия и других факторов.

В статье ставится задача и предлагаются решения для выбора режимов выглаживания алмазными инструментами на основе анализа сигнала временной последовательности колебаний инструмента, сопровождающей процесс выглаживания. Сигнал временной вибрационной последовательности формируется в результате преобразования силовой эмиссии в зоне обработки динамической системой, которая состоит из подсистем со стороны инструмента и заготовки, взаимодействующих через динамическую связь, формируемую процессом выглаживания. В свою очередь, формируемая динамическая связь несёт информацию о свойствах поверхности детали, формируемой в процессе выглаживания.

Математическое моделирование динамики процесса выглаживания. Схема процесса выглаживания приведена на рис. 1. Она соответствует наиболее распространённому способу выглаживания с упругим закреплением инструмента. Эта схема соответствует процессу трения индентора с образцом, который достаточно подробно рассмотрен в работах [3, 4]. Там же показано, что упругие и диссипативные свойства подсистемы со стороны инструмента после предварительного нагружения в вариациях относительно точки равновесия могут быть схематизированы в линейном приближении в виде матриц скоростных коэффициентов и упругости. Инструмент для процесса выглаживания состоит из корпуса, в котором через упругие элементы устанавливается алмазный наконечник, осуществляющий процесс выглаживания. При этом силы контактного взаимодействия формируются в результате деформаций алмазного наконечника относительно корпуса через упругие элементы. Одновременно имеют место деформационные свойства корпуса относительно несущей системы станка, которую можно считать абсолютно жёсткой.

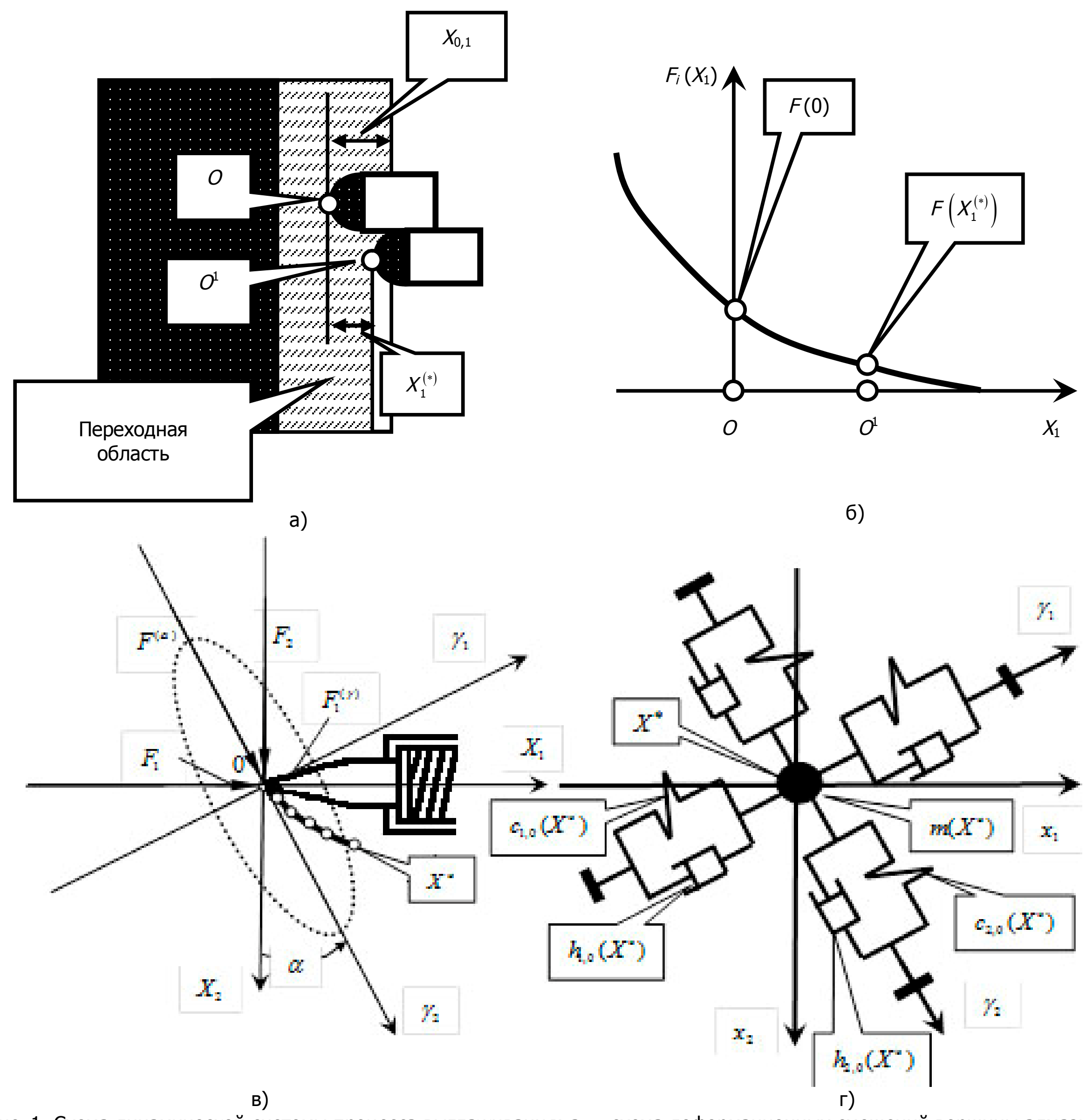


Рис. 1. Схема динамической системы процесса выглаживания: а — схема деформационных смещений вершины алмазного наконечника от статической установки $X_{0,1}$ до точки равновесия $X_1^{(*)}$; б — функции сближения сил контактного взаимодействия; в — схема контакта наконечника выглаживающего инструмента с заготовкой; г — схематизация деформационных смещений

Если вершина инструмента устанавливается в точке *О* на рис. 1, *а*, которой соответствует координата $X_{0,1}$, то в результате конечной жёсткости в установившемся состоянии инструмент смещается в точку O^1. Этой точке соответствует координата точки положения равновесия $X_1^{(*)}$ в отжимающем направлении. В процессе выглаживания в установившемся состоянии наблюдается баланс сил, формируемых в зоне контакта наконечника с образцом, и сил упругости со стороны инструмента. Причём силы зависят от упругих смещений наконечника в направлении X_1 и предварительного его смещения относительно поверхности заготовки $X_{0,1}$. Качественная характеристика зависимости сил от деформационных смещений, названная функцией сближения, приведена на рис. 1, *б*. Упругие деформационные смещения при заданных силах определяются матрицей жёсткости, и в динамическом режиме они зависят от матрицы скоростных коэффициентов. Поэтому справедлива схематизация, представленная на рис. 1, *г*. Схема ориентации эллипса жёсткости в контакте приведена на рис. 1, *в*.

Величина натяга $t_P = \left(X_{0,1} - X_1\right)$, интерпретируемого как глубина резания, характеризует основную координату настройки динамической системы выглаживания, влияющую на силы контактного взаимодействия (рис. 2). На рис. 2 приведены примеры зависимости установившихся сил контактного взаимодействия от величины натяга для заготовки диаметром 80 мм обработанной чистовым точением с R_a = 2,0 мКм.

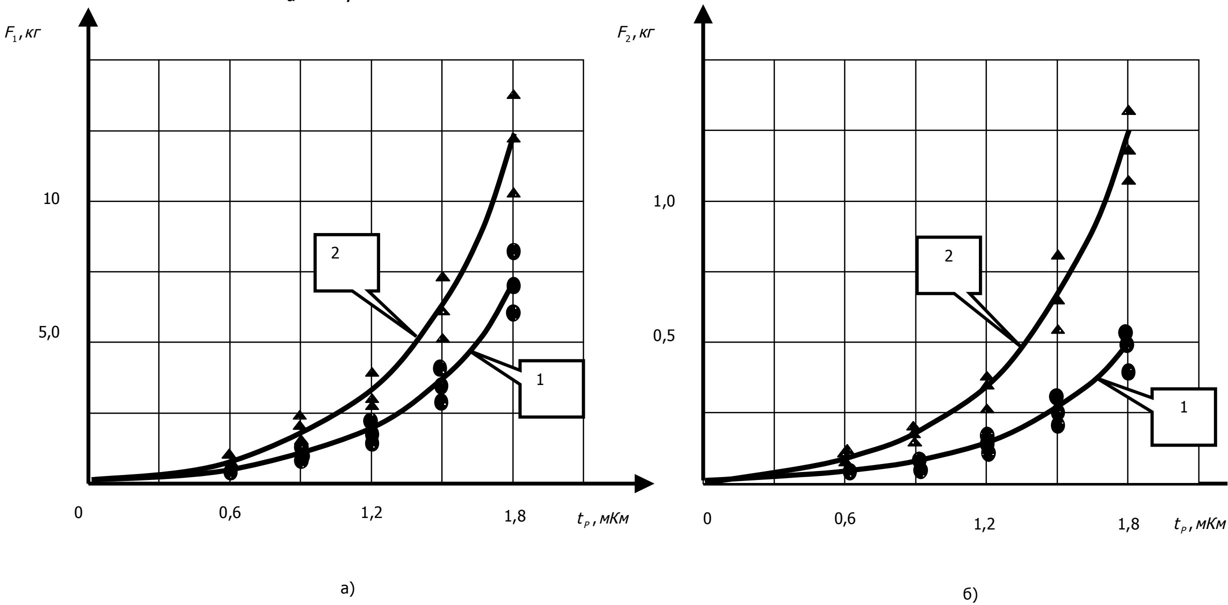


Рис. 2. Зависимость сил от величины натяга при выглаживании (обработка с СОЖ — индустриальное масло 20; скорость выглаживания — 40 м/мин): 1 — Ст45; 2 — 25ХН1М: а — изменение силы в направлении X_1; б — изменение силы в направлении X_2

Приведённые зависимости сил от натяга в пределах высоты микронеровностей заготовки хорошо аппроксимируются параболической кривой, то есть представимы в виде

$$\begin{cases} F_1\left(X_1\right) = k_1\left(X_{0,1} - X_1\right)^2; \\ F_2\left(X_1\right) = k_2\left(X_{0,1} - X_1\right)^2, \end{cases} \qquad (1)$$

где k_1, k_2 — экспериментально определяемые коэффициенты, имеющие смысл давления, кг/мм^2. Они зависят от геометрии выглаживателя, физико-механических свойств заготовки, её шероховатости и скорости резания.

В неустановившемся состоянии уравнение динамики процесса выглаживания в соответствии с рис. 1 можно представить в виде

$$m\frac{d^2X}{dt^2} + h\frac{dX}{dt} + cX = F\left(X_{0,1}, X_1\right) + f\left(t\right), \qquad (2)$$

где $F\left(X_1\right) = \left\{k_1\left(X_{0,1} - X_1\right)^2, k_2\left(X_{0,1} - X_1\right)^2\right\}^T$ — вектор-функция зависимости двух составляющих сил от текущего значения глубины внедрения наконечника $t_P = \left(X_{0,1} - X_1\right)$, причём, $X_{0,1}$ — расстояние между поверхностью заготовки и вершиной наконечника без учёта его упругих деформационных смещений; $X = \left\{X_1, X_2\right\}^T$ — величина упругих деформационных смещений, отсчитываемая от точки O; $m = \begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & m \end{bmatrix}$, $h = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{2,1} \\ h_{1,2} & h_{2,2} \end{bmatrix}$, $c = \begin{bmatrix} c_{1,1} & c_{2,1} \\ c_{1,2} & c_{2,2} \end{bmatrix}$ — соответственно матрицы инерционных, диссипативных и упругих коэффициентов подсистемы инструмента; $f\left(t\right) = \left\{f_1\left(t\right), f_2\left(t\right)\right\}^T$ — силовой шум процесса выглаживания, характеризующийся составляющими сил, не объяснимыми в координатах упругих деформационных смещений инструмента относительно заготовки. Он имеет широкий спектральный состав.

Если в (2) $X_{0,1} = \text{const}$, то в динамической системе устанавливается равновесие $X^* = \left\{X_1^*, X_2^*\right\}^T$, координаты которого определяются из системы

$$\begin{cases} c_{1,1}X_1^* + c_{2,1}X_2^* = k_1\left(X_{0,1} - X_1^*\right)^2; \\ c_{1,2}X_1^* + c_{2,2}X_2^* = k_2\left(X_{0,1} - X_1^*\right)^2. \end{cases} \tag{3}$$

или

$$\begin{cases} X_1^* = \dfrac{1 + 2\chi_1 X_{0,1} - \sqrt{1 + 4\chi_1 X_{0,1}}}{2\chi_1}; \\ X_2^* = \chi_2\left(X_{0,1} - X_1^*\right)^2, \end{cases} \tag{4}$$

где $\chi_1 = \dfrac{k_1 c_{2,2} - k_2 c_{2,1}}{c_{1,1}c_{2,2} - \left(c_{2,1}\right)^2}$, $\chi_2 = \dfrac{k_2 c_{1,1} - k_1 c_{2,1}}{c_{1,1}c_{2,2} - \left(c_{2,1}\right)^2}$. При анализе (4) необходимо иметь в виду, что матрица c в (2) является симметричной и положительно определённой. Кроме этого из двух корней X_1^* выбран один, который соответствует области определения нелинейных функций (1).

Будем полагать, что в процессе выглаживания установилось стационарное состояние, которому соответствуют точки равновесия $X^* = \left\{X_1^*, X_2^*\right\}^T$, являющиеся асимптотически устойчивыми. Рассмотрим уравнение в вариациях относительно $X^* = \left\{X_1^*, X_2^*\right\}^T$. При этом учтём, что силы контактного взаимодействия зависят не только от величины внедрения, но и от колебательных скоростей в вариациях относительно точки равновесия. Нелинейную функцию зависимости сил от деформационных смещений в общем случае можно представить в виде $F\left(X_1, dX_1/dt, dX_2/dt\right)$. Скорость обработки будем считать неизменной. После замены $X(t) = X^* + x(t)$ имеем уравнение в вариациях относительно точки равновесия

$$m\frac{d^2x}{dt^2} + h\frac{dx}{dt} + cx = \varphi\left(x_1, X^*\right) + f(t), \tag{5}$$

где $\varphi\left(x_1, X^*\right) = F\left(X^* + x, dx/dt\right) - F\left(X^*\right)$ — новая нелинейная функция, обладающая свойством $\varphi\left(0, X^*\right) \equiv 0$. Причём для фиксированной точки равновесия $\left\{x = 0, dx/dt = 0\right\}$ $\varphi(x_1) = \left\{\varphi_1(x_1), \varphi_2(x_1)\right\}^T = \left\{0, 0\right\}^T$. Тогда для малых вариаций в окрестности равновесия имеем

$$m\frac{d^2x}{dt^2} + h_\Sigma\frac{dx}{dt} + c_\Sigma x = f(t), \tag{6}$$

где $c_\Sigma = \begin{bmatrix} c_{1,1} - \dfrac{\partial\varphi_1}{\partial x_1} & c_{1,2} \\ c_{2,1} - \dfrac{\partial\varphi_2}{\partial x_1} & c_{2,2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{1,1,\Sigma} & c_{1,2,\Sigma} \\ c_{2,1,\Sigma} & c_{2,2,\Sigma} \end{bmatrix}$, $h_\Sigma = \begin{bmatrix} h_{1,1} - \dfrac{\partial\varphi_1}{\partial\dot{x}_1} & h_{1,2} - \dfrac{\partial\varphi_1}{\partial\dot{x}_2} \\ h_{2,1} - \dfrac{\partial\varphi_2}{\partial\dot{x}_1} & h_{2,2} - \dfrac{\partial\varphi_2}{\partial\dot{x}_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{1,1,\Sigma} & h_{1,2,\Sigma} \\ h_{2,1,\Sigma} & h_{2,2,\Sigma} \end{bmatrix}$ — суммарные матрицы упругих и скоростных коэффициентов с учётом линеаризованной реакции со стороны процесса обработки. Матрицы c_Σ и h_Σ в отличие от c и h не являются симметричными. Более того, их симметричные составляющие могут за счёт реакции со стороны процесса обработки стать отрицательно определёнными. В этом случае равновесие системы будет неустойчивым. Вопрос устойчивости равновесия будет рассмотрен в наших следующих публикациях. Здесь же будем считать, что равновесие устойчиво.

Пусть задан спектральный состав $f(t)=\{f_1(t),f_2(t)\}^T$ в виде спектральной матрицы $S_{f_i,f_k}(j\omega)=\begin{bmatrix} S_{f_1,f_1}(\omega) & S_{f_2,f_1}(j\omega) \\ S_{f_1,f_2}(j\omega) & S_{f_2,f_2}(j\omega) \end{bmatrix}$. Тогда из (6) получаем наблюдаемые автоспектры колебаний инструмента, например в направлении X_1

$$S_{x_1,x_1}(\omega)=\frac{A(\omega)+B(\omega)-C(\omega)}{m^4\left\{\left[\left(\omega_{0,1}\right)^2-\omega^2\right]^2+4\left(\xi_1\omega_{0,1}\right)^2\right\}\left\{\left[\left(\omega_{0,2}\right)^2-\omega^2\right]^2+4\left(\xi_2\omega_{0,2}\right)^2\right\}} \quad (7)$$

где

$$A(\omega)=S_{f_1,f_1}(\omega)\left[\left(c_{2,2,\Sigma}-m\omega^2\right)^2+\left(h_{2,2,\Sigma}\omega\right)^2\right];\ B(\omega)=S_{f_2,f_2}(\omega)\left[\left(c_{2,1,\Sigma}\right)^2+\left(h_{2,1,\Sigma}\omega\right)^2\right];$$

$$C(\omega)=2\operatorname{Re}S_{f_1,f_2}(j\omega)\left[\left(c_{2,2,\Sigma}-m\omega^2+jh_{2,2,\Sigma}\omega\right)\left(c_{2,1,\Sigma}-h_{2,1,\Sigma}\omega j\right)\right];$$

$$m^2\left[p^2+2\xi_1\omega_{0,1}p+\left(\omega_{0,1}\right)^2\right]\left[p^2+2\xi_2\omega_{0,2}p+\left(\omega_{0,2}\right)^2\right]=$$

$$=\left(mp^2+h_{1,1,\Sigma}p+c_{1,1,\Sigma}\right)\left(mp^2+h_{2,2,\Sigma}p+c_{2,2,\Sigma}\right)-\left(h_{1,2,\Sigma}p+c_{1,2,\Sigma}\right)\left(h_{2,1,\Sigma}p+c_{2,1,\Sigma}\right)^2$$ — характеристический полином системы (6), приведённый к мультипликативной форме.

Матрица $S_{f_i,f_k}(j\omega)$, как показывают экспериментальные исследования, имеет широкий спектральный состав. Поэтому при заданных и неизменных параметрах подсистемы инструмента в зависимости от градиентов функции $\varphi(x,dx/dt)$ по направлению сближения контактируемых поверхностей наблюдается смещение собственных частот системы. Другими словами, при изменениях текущих значений градиентов свойств системы в поверхностной области наблюдается смещение собственных частот и соответствующих им всплесков в автоспектре колебательных смещений $S_{x_1,x_1}(\omega)$. Поэтому по девиации собственных частот можно оценивать градиенты функций $\varphi(x_1)=\{\varphi_1(x_1),\varphi_2(x_1)\}^T$. Важно подчеркнуть, что девиация частот наблюдается при измерении колебаний инструмента в любом направлении, так как характеристический полином системы (5) остаётся неизменным.

Алгоритм настройки. При заданной геометрии и физико-механических свойствах заготовки и выглаживателя качество формируемой поверхности зависит от величины припуска, скорости резания и шероховатости поверхности обрабатываемой заготовки. Если двигаться от точки $t_P=0$ на рис. 2, которой соответствует поверхность заготовки, в сторону увеличения заглубления выглаживателя, то изменяются выходные параметры процесса. При больших глубинах формируемая поверхность становится нестационарной, при малых — процесс выглаживания не сглаживает все микронеровности исходной поверхности. Существует оптимальное значение внедрения, при котором выглаженная поверхность имеет минимальное значение микронеровностей. Причём на оптимальное значение внедрения оказывает влияние не столько само внедрение, сколько градиенты функций зависимости сил от внедрения по самому внедрению. Этому условию соответствует и равномерное распределение микротвёрдости по глубине на всех участках поверхности. Стационарным является и распределение остаточных сжимающих напряжений в приповерхностной области [5].

Важно подчеркнуть, что на эффективность процесса выглаживания влияет не столько глубина внедрения, сколько градиенты рассматриваемых силовых функций по глубине. В свою очередь, зависимости, приведённые на рис. 2, обусловлены при прочих неизменных условиях шероховатостью обрабатываемой заготовки. Поэтому при настройке технологической системы и в процессе её функционирования важно обеспечить требуемое значение градиента функции $\partial F_1/\partial X_1$, которому для данной заготовки соответствует $\partial F_2/\partial X_1$. Как показано выше, изменение градиентов $\partial F_1/\partial X_1$ и $\partial F_2/\partial X_1$ отображается в вариациях частоты основных осцилляторов вибрационных последовательностей.

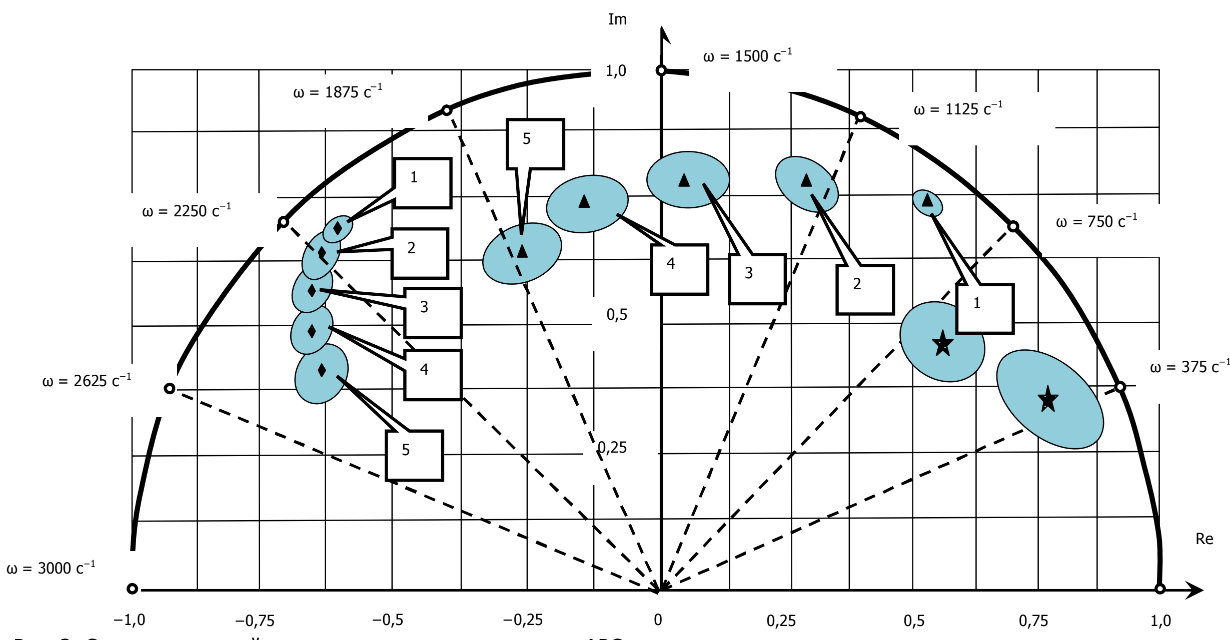


Рис. 3. Смещения корней характеристического полинома АРС-модели по мере увеличения внедрения инструмента в заготовку

Для оценивания девиации частоты основных осцилляторов удобно воспользоваться методами авторегрессионного спектрального анализа (АРС) [6]. Эти методы позволяют в ходе процесса оценивать распределение корней характеристического полинома АРС-моделей в комплексной плоскости и тем самым — отклонения градиентов рассматриваемых функций. В качестве управления или параметра настройки выступает смещение $X_{0,1}$ в (2). Приведём характерный пример смещения корней характеристического полинома АРС моделей вибрационных последовательностей по мере увеличения $X_{0,1}$, которому соответствует для данной упругой системы возрастание внедрения инструмента в заготовку (рис. 3). Значение деформационного смещения инструмента по направлению X_2 не имеет принципиального значения, так как величины деформационных смещений малы по сравнению с диаметром обрабатываемой поверхности. Характеристики смещения корней приведены для случая выглаживания стали 25ХН1М алмазным выглаживателем диаметром 4,0 мм. Заготовка имеет шероховатость R_a = 2,0 мКм. Скорость выглаживания — 120 м/мин, величина подачи — 0,01 мм/об. Диаграммы приведены для подсистемы инструмента, имеющей следующие матрицы жёсткости, диссипации и инерционных коэффициентов:

$$c^{(1)} = \begin{bmatrix} 100\,\frac{\text{кГ}}{\text{мм}} & 60{,}0\,\frac{\text{кГ}}{\text{мм}} \\ 60{,}0\,\frac{\text{кГ}}{\text{мм}} & 800\,\frac{\text{кГ}}{\text{мм}} \end{bmatrix},\ h^{(1)} = \begin{bmatrix} 6{,}7\cdot 10^{-3}\,\frac{\text{кГ}\cdot\text{с}^2}{\text{мм}} & 1{,}1\cdot 10^{-3}\,\frac{\text{кГ}\cdot\text{с}^2}{\text{мм}} \\ 1{,}1\cdot 10^{-3}\,\frac{\text{кГ}\cdot\text{с}^2}{\text{мм}} & 16{,}0\cdot 10^{-3}\,\frac{\text{кГ}\cdot\text{с}^2}{\text{мм}} \end{bmatrix},$$

$$m^{(1)} = \begin{bmatrix} 1{,}4\cdot 10^{-4}\,\frac{\text{кГ}\cdot\text{с}^2}{\text{мм}} & 0{,}064\cdot 10^{-4}\,\frac{\text{кГ}\cdot\text{с}^2}{\text{мм}} \\ 0{,}064\cdot 10^{-4}\,\frac{\text{кГ}\cdot\text{с}^2}{\text{мм}} & 2{,}0\cdot 10^{-4}\,\frac{\text{кГ}\cdot\text{с}^2}{\text{мм}} \end{bmatrix}.$$

На рис. 3 даны диаграммы двух основных значимых осцилляторов для следующих значений величины внедрения выглаживателя в образец: 1 — 0,5 мкм, 2 — 1,0 мкм, 3 — 1,5 мкм, 4 — 1,8 мкм, 5 — 2,2 мкм. Кроме этого на рисунках выделены центры группирования для каждого значения внедрения и области 95 % разброса их значений.

Выполненные исследования, в том числе проиллюстрированные на рис. 3, дополненные данными о шероховатости обработанной поверхности, позволяют сделать следующие выводы о свойствах частотного состава наблюдаемых в процессе обработки вибрационных последовательностях.

1) По мере внедрения выглаживателя в обрабатываемую поверхность наблюдается смещение частот основных осцилляторов вибрационной последовательности, что естественно, так как возрастает динамическая жёсткость контакта инструмента с заготовкой. При этом частоты основных осцилляторов имеют тенденцию смещаться в высокочастотную область.

2) При увеличении внедрения инструмента в заготовку частоты основных осцилляторов также смещаются в сторону единичной окружности и при этом эллипсы рассеяния расположения корней характеристического полинома АРС моделей возрастают. Это свидетельствует об увеличении коэффициентов затухания в единой динамической системе, состоящей из инструмента и динамической связи, формируемой в области сопряжения инструмента с заготовкой.

3) Замечено, что увеличение радиального биения шпинделя станка и (или) величины припуска приводит к увеличению оси эллипса рассеяния частот (наблюдается уширение спектральной линии колебаний основных осцилляторов). В свою очередь, кинематические возмущения от станка, вариации припуска и свойств заготовки влияют на предельно достижимую шероховатость формируемой поверхности.

4) По мере увеличения внедрения инструмента в заготовку изменяется шероховатость поверхности обработанной детали (рис. 4). Зависимость величины микронеровностей от внедрения носит экстремальный характер. При этом минимальное значение шероховатости наблюдается при величинах внедрения примерно равных 0,6—0,7 от величины микронеровности заготовки. Для конкретного примера эта величина равна (1,2—1,5) мкм. На приведённой иллюстрации жирная линия проведена через математические ожидания. Кроме этого точками показан разброс экспериментальных данных. Характерно, что дисперсия существенно возрастает при приближении глубины внедрения к величине шероховатости исходной поверхности.

5) При увеличении скорости резания некоторые осцилляторы смещаются в высокочастотную область примерно пропорционально росту скорости. Их частоты отличаются от частот собственных колебаний системы, и при вариации внедрения эти частоты, лежащие в низкочастотной области, практически не смещаются в частотной области. Следовательно, существуют пространственно зависимые возмущения, действующие со стороны процесса обработки. На рис. 3 эти частоты показаны едиными кластерами, обозначенными звёздами.

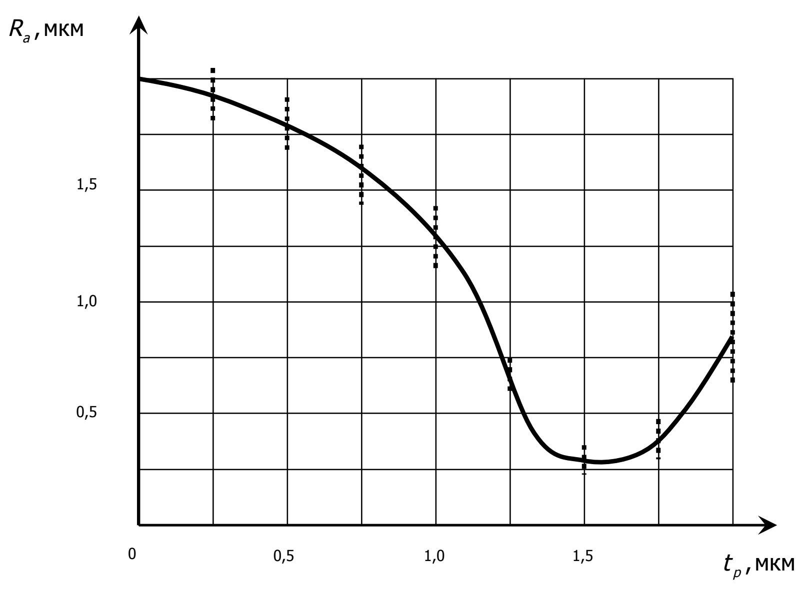


Рис. 4. Изменение шероховатости поверхности обработанной детали по мере увеличения внедрения инструмента в заготовку

Кроме этого, необходимо отметить, что предельно достижимая шероховатость поверхности зависит от точности станка (прежде всего, от радиальных биений шпинделя) и вариаций поверхности по отношению к оси вращения заготовки, обусловленных точностью установки детали и исходной точностью изготовления её геометрии в поперечном сечении.

Заключение. Наблюдение за вибрационной последовательностью колебаний инструмента в процессе выглаживания поверхностей представляет собой надёжный источник информации о состоянии процесса и параметрах качества формируемой поверхности.

Библиографический список

1. Шнейдер, Ю. Г. Технология финишной обработки давлением / Ю. Г. Шнейдер. — Санкт-Петербург: Политехника, 1998. — 414 с.

2. Торбило, В. М. Алмазное выглаживание / В. М. Торбило. — Москва: Машиностроение, 1972. — 104 с.

3. Заковоротный, В. Л. Динамика трибосистем. Самоорганизация, эволюция / В. Л. Заковоротный. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2003. — 502 с.

4. Заковоротный, В. Л. Введение в динамику трибосистем / В. Л. Заковоротный, В. П. Блохин, М. И. Алексейчик. — Ростов-на-Дону: ИнфоСервис, 2004. — 680 с.

5. Папшев, Д. Д. Отделочно-упрочняющая обработка пластическим деформированием / Д. Д. Папшев. — Москва: Машиностроение, 1978. — 152 с.

6. Марпл, С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения / С. Л. Марпл. — Москва: Мир, 1990. — 584 с.

Материал поступил 19.10.2011.

References

1. Shnejder, Yu. G. Texnologiya finishnoj obrabotki davleniem / Yu. G. Shnejder. — Sankt-Peterburg: Politexnika, 1998. — 414 s. — In Russian.

2. Torbilo, V. M. Almaznoe vy`glazhivanie / V. M. Torbilo. — Moskva: Mashinostroenie, 1972. — 104 s. — In Russian.

3. Zakovorotny`j, V. L. Dinamika tribosistem. Samoorganizaciya, e`volyuciya / V. L. Zakovorotny`j. — Rostov-na-Donu: Izd. centr DGTU, 2003. — 502 s. — In Russian.

4. Zakovorotny`j, V. L. Vvedenie v dinamiku tribosistem / V. L. Zakovorotny`j, V. P. Bloxin, M. I. Aleksejchik. — Rostov-na-Donu: InfoServis, 2004. — 680 s. — In Russian.

5. Papshev, D. D. Otdelochno-uprochnyayushhaya obrabotka plasticheskim deformirovaniem / D. D. Papshev. — Moskva: Mashinostroenie, 1978. — 152 s. — In Russian.

6. Marpl, S. L. Cifrovoj spektral`ny`j analiz i ego prilozheniya / S. L. Marpl. — Moskva: Mir, 1990. — 584 s. — In Russian.

DYNAMIC DIAGNOSTICS OF SURFACE YIELDING TREATMENT TECHNIQUES

V. L. Zakovorotniy, V. S. Minakov, M. M. Khanukayev
(Don State Technical University)

The smoothing process is considered. Depending on the smoother digging into the work surface, the equation in variations about the smoothing balance point varies. For providing the rational setting of the process, the method based on the vibroacoustic emission signal analysis, in which the gradient parameters of the mechanical-and-physical properties of the surface coating are represented, is offered.

Keywords: *smoothing process, gradient properties, dynamics, vibroacoustic emission.*

УДК 007:631.4

О методике фаззификации нечёткой экспертной информации

В. П. Димитров, Л. В. Борисова, И. Н. Нурутдинова
(Донской государственный технический университет)

Рассматриваются основные аспекты методики фаззификации при формировании нечёткой экспертной информации для построения логического вывода в экспертных системах. Приведён модельный пример использования методики.

Ключевые слова: *лингвистическая переменная, функция принадлежности, фаззификация, показатель согласованности.*

Введение. При построении интеллектуальных информационных систем поддержки принятия решений в сфере эксплуатации сложных машин, при решении различных задач менеджмента качества и в других областях широко используются базы знаний, основанные на нечётких знаниях, т. е. нечёткие продукционные системы [1]. Блок приобретения и корректировки знаний является одним из основных блоков интеллектуальных информационных систем (экспертных систем), поэтому актуальны вопросы представления нечёткой экспертной информации.

Нечёткая экспертная информация трудноформализуема в рамках традиционных математических формализмов, что обусловило широкое применение в этой области теории нечётких множеств, которая оперирует нечёткими знаниями и понятиями и позволяет делать выводы на основе правил нечёткой логики.

При отображении лингвистических значений качественных признаков на числовые элементы порядковых шкал информация огрубляется, теряется та её ценная составляющая, которая характеризует индивидуальный опыт и знания эксперта. Приближённое представление значений функций принадлежности (ФП) термов семантических пространств может приводить к неадекватности нечётких моделей субъективным суждениям и исходным данным. Например, для описания признаков предметной области эксперты могут применять разные множества их лингвистических значений. В одном случае возникают трудности в связи с недостаточностью значений, в другом — в связи с их избыточностью, в результате чего следует ожидать увеличения нечёткости и рассогласованности поступающей от экспертов информации. Естественным вопросом при оценивании экспертом проявлений признаков является вопрос о критериях, по которым должен производиться выбор оптимального множества значений лингвистической шкалы при оценивании того или иного признака.

Основные положения методики. Описание критериев оптимальности выбора значений лингвистических переменных в [2] содержит требования минимальной неопределённости для экспертов при описании реальных объектов и максимальной согласованности экспертной информации.

Важной практической задачей является выбор оптимального множества лингвистической шкалы, используемой для оценивания входных факторов модели.

Для адекватного представления нечёткой экспертной информации о предметной области необходимо установить оптимальное число термов (m_0) лингвистической переменной (ЛП). Сверху число термов ограничено соображениями точности измерения рассматриваемого параметра. А нижняя граница должна быть такой, чтобы возможно было выявить и описать взаимодействие данного фактора с выходными факторами. При решении рассматриваемой задачи проводят оценку согласованности нечётких экспертных знаний.

При анализе согласованности нечёткой экспертной информации вначале вычисляются аддитивный и мультипликативный показатели общей согласованности, а потом по их величинам формулируется суждение о согласованности моделей экспертного оценивания. Затем строится матрица парной согласованности моделей X_i и X_j экспертов.

Общая согласованность множества моделей экспертного оценивания признака определяется аддитивным k и мультипликативным $\tilde{k}$ показателями [3]:

$$k = \frac{1}{m}\sum_{l=1}^{m}\frac{\int_0^1 \min\limits_{\forall i=1,2,\ldots,k}\mu_{il}(x)\,dx}{\int_0^1 \max\limits_{\forall i=1,2,\ldots,k}\mu_{il}(x)\,dx}, \qquad \tilde{k} = \sqrt[m]{\prod_{l=1}^{m}\frac{\int_0^1 \min\limits_{\forall i=1,2,\ldots,k}\mu_{il}(x)\,dx}{\int_0^1 \max\limits_{\forall i=1,2,\ldots,k}\mu_{il}(x)\,dx}}, \tag{1}$$

где $l = 1, 2, \ldots, m$ — номер терма, $i = 1, 2, \ldots, k$ — номер эксперта, $\mu_{il}(x)$ — ФП, которую задал i-й эксперт для l-го терма.

Очевидно, что $0 \le k \le 1, 0 \le \tilde{k} \le 1$.

Если все модели X_1, X_2, …, X_k совпадают (все эксперты одинаково определяют ФП у всех термов), то $k = \tilde{k} = 1$. Если нет пересечений у ФП всех термов, то $k = 0$. Если нет пересечений у ФП хотя бы одного терма, то $\tilde{k} = 0$.

Показатель согласованности между моделями двух экспертов, i-го и j-го, в рамках l-го терма определяется величиной [1]:

$$k_{ij} = \frac{\int_0^1 \min\left[\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\right] dx}{\int_0^1 \max\left[\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\right] dx}. \quad (2)$$

Затем строится матрица K_m^{ij} парной согласованности моделей X_i и X_j экспертов. Очевидно, что на главной диагонали матрицы стоят единицы, и матрица симметрична.

На основе матриц парной согласованности моделей для всех термов находится матрица K_m согласованности моделей X_i и X_j по всем термам. Её элементы определяются формулой [2]:

$$\tilde{k}_{ij} = \frac{1}{m}\sum_{l=1}^{m} \tilde{k}_{ij}^{l}, \quad (3)$$

где m — число термов.

Анализ аддитивных и мультипликативных показателей, а также матриц парной согласованности для моделей с разным количеством термов может быть использован для выбора оптимального количества термов ФП [3]. Результаты такого анализа необходимо сопоставлять с результатами определения оптимального числа термов ЛП методом минимизации средневзвешенного квадратического отклонения F_m индивидуальных параметров, задаваемых экспертами, от усреднённых значений этих параметров. Из условия минимума F_m определяют значения параметров обобщённой ФП:

$$F_m = \sum_{l=1}^{m}\sum_{i=1}^{k}\omega_i \sum_{j=1}^{4}\left(a_j^{il} - a_j^{l}\right)^2 \to \min, \quad (4)$$

где a_1^{il} и a_2^{il} — границы толерантности нечёткого числа $\mu_{il}(x)$, a_3^{il} и a_4^{il} — его левый и правый коэффициенты нечёткости соответственно, a_j^{l} — их усреднённые значения, ω_i — весовые коэффициенты экспертов.

Из необходимого условия экстремума функции F_m получаем:

$$a_j^{l} = \sum_{i=1}^{k}\omega_i a_j^{il}. \quad (5)$$

При заданных весовых коэффициентах и постоянном количестве и составе экспертов F_m зависит только от числа термов модели. Оптимальным числом термов будет такое, для которого F_m примет наименьшее значение.

Рассмотрим подробно вопрос о выборе весовых коэффициентов. Обычно в качестве начального приближения для решения прикладных задач весовые коэффициенты принимают для всех экспертов одинаковыми, что естественно при равной квалификации экспертов, однако это не всегда реализуется. Кроме того, экспертная информация служит для получения обобщённой ФП, которая используется затем для построения нечёткого логического вывода, поэтому необходимо, чтобы она была адекватна реальности. Это требование обеспечивается в значительной степени максимальной согласованностью экспертной информации. Устранение экспертных данных, которые существенно отличаются от остальных, может привести к потере возможно ценной информации. Более целесообразно ввести различные весовые коэффициенты, ранжируя экспертов по степени согласованности их информации с остальными. Величины весовых коэффициентов можно вычислить по правилу Фишберна [4], которое отражает тот факт, что об уровне значимости показателей неизвестно ничего, кроме того, что ранги экспертов $r_1 \ge r_2 \ge \ldots \ge r_k$. Тогда формула отвечает максимальной энтропии наличной информационной неопределённости знаний об объекте. Веса Фишберна — это рациональные дроби, в знаменателе которых стоит сумма арифметической прогрессии N первых членов натурального ряда с шагом 1, а в числителе — убывающие на 1 элементы натурального ряда от N до 1. Таким образом, предпочтение по Фишберну выражается в убывании на 1 числителя рациональной дроби весового коэффициента более слабой альтернативы. Набор весов Фишберна для системы строгих предпочтений определяется по формуле:

$$\omega_i = \frac{2(N-i+1)}{N(N+1)}, \qquad (6)$$

где N — число экспертов, i — номер эксперта по значимости.

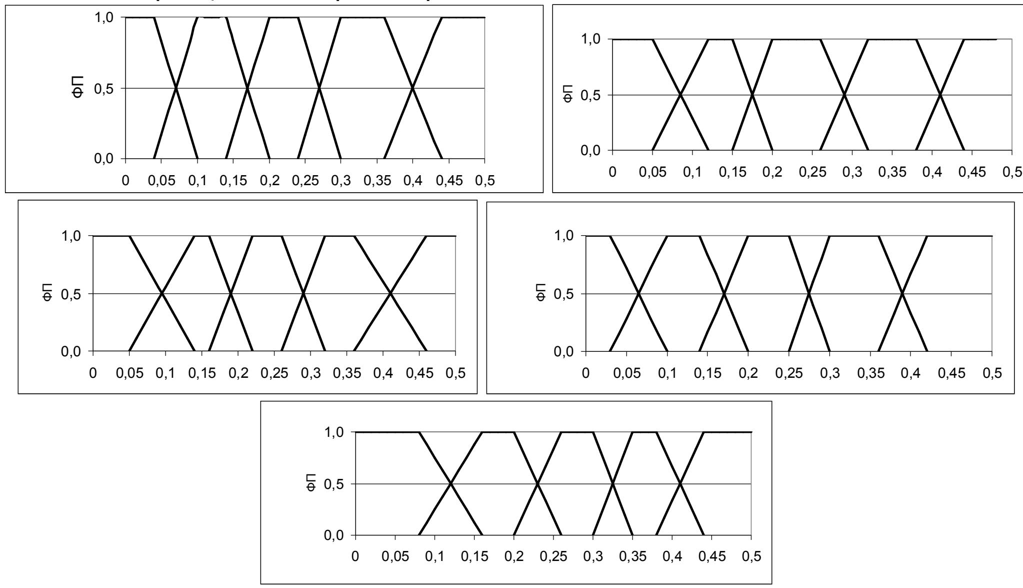


Рис. 1. Функции принадлежности пяти термов ЛП

Для смешанной системы предпочтений, когда наряду с предпочтениями в систему входят отношения безразличия, числители a_i рациональных дробей определяются по реккурентной формуле:

$$a_{i-1} = \begin{Bmatrix} a_i, & \text{если } r_{i-1} \approx r_i \\ a_{i+1}, & \text{если } r_{i-1} > r_i \end{Bmatrix}, \quad r_N = 1, \quad i = N, \dots, 2. \qquad (7)$$

Тогда общий знаменатель b дробей Фишберна:

$$b = \sum_{i=1}^{N} a_i. \qquad (8)$$

И окончательно весовые коэффициенты Фишберна имеют вид:

$$\omega_i = \frac{a_i}{b}. \qquad (9)$$

Таблица 1

Значения коэффициентов *a, b, c, d* функций принадлежности для различных экспертов

Вид терма	Значения параметров ФП для различных экспертов				
	1-й эксперт	2-й эксперт	3-й эксперт	4-й эксперт	5-й эксперт
1. Левый	a = 0,04 b = 0,10	a = 0,05 b = 0,12	a = 0,05 b = 0,14	a = 0,03 b = 0,10	a = 0,08 b = 0,16
2. Центральный	a = 0,04 b = 0,20 c = 0,10 d = 0,14	a = 0,05 b = 0,20 c = 0,12 d = 0,15	a = 0,05 b = 0,22 c = 0,14 d = 0,16	a = 0,03 b = 0,20 c = 0,10 d = 0,14	a = 0,08 b = 0,26 c = 0,16 d = 0,20
3. Центральный	a = 0,14 b = 0,30 c = 0,20 d = 0,24	a = 0,15 b = 0,32 c = 0,20 d = 0,26	a = 0,16 b = 0,32 c = 0,22 d = 0,26	a = 0,14 b = 0,30 c = 0,20 d = 0,25	a = 0,20 b = 0,35 c = 0,26 d = 0,30
4. Центральный	a = 0,24 b = 0,44 c = 0,30 d = 0,36	a = 26 b = 0,44 c = 0,32 d = 0,38	a = 0,26 b = 0,46 c = 0,32 d = 0,36	a = 0,25 b = 0,42 c = 0,30 d = 0,36	a = 0,30 b = 0,44 c = 0,35 d = 0,38
5. Правый	a = 0,36 b = 0,44	a = 0,38 b = 0,44	a = 0,36 b = 0,46	a = 0,36 b = 0,42	a = 0,38 b = 0,44

Рассмотрим использование методики на примере модельной лингвистической переменной. Пусть пять экспертов дали оценки ФП для трёх термов, для четырёх термов и пяти термов. Функции принадлежностей описываются уравнениями трапециевидной формы [1], причём область определения для x от 0 до 1 (нормированные значения), а область определения для коэффициентов

Таблица 2

Результаты расчёта показателей k и $\tilde{k}$

Модель	k	$\tilde{k}$
3-термовая	0,572	0,562
4-термовая	0,479	0,466
5-термовая	0,469	0,436

уравнения ФП: *a*, *b*, *c*, *d* от 0 до 1. Значения коэффициентов ФП, установленные экспертами для каждой из моделей, представлены в табл. 1 (фрагмент данных).

Графическая иллюстрация ФП для 5-термовой модели представлена на рис. 1.

Для расчётов аддитивных и мультипликативных показателей по формулам (1) и вычисления матриц парной согласованности по формулам (2) и (3) использована программная система приобретения и корректировки знаний экспертной системы [5]. Для рассматриваемых ФП результаты расчётов аддитивных и мультипликативных показателей представлены в табл. 2.

Анализ полученных показателей общей согласованности экспертной информации показывает, что наиболее согласованной является 3-термовая модель, менее согласована 4-термовая и ещё менее — 5-термовая. При этом различие в степени согласованности 4- и 5-термовых моделей незначительно. Одна из причин этого может заключаться в том, что увеличение числа термов влечёт за собой и усиление рассогласованности экспертной информации.

Результаты вычислений матриц парной согласованности для всех моделей имеют вид:

$$K_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0,741 & 0,9 & 0,9 & 0,741 \\ 0,741 & 1 & 0,667 & 0,667 & 0,964 \\ 0,9 & 0,667 & 1 & 0,946 & 0,667 \\ 0,9 & 0,667 & 0,946 & 1 & 0,667 \\ 0,741 & 0,964 & 0,667 & 0,667 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 4,282 \\ 4,039 \\ 4,18 \\ 4,18 \\ 4,039 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \\ 2 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1/3 \\ 1/9 \\ 2/9 \\ 2/9 \\ 1/9 \end{pmatrix} \qquad (10)$$

$$K_4 = \begin{pmatrix} 1 & 0,861 & 0,713 & 0,741 & 0,7 \\ 0,861 & 1 & 0,735 & 0,721 & 0,656 \\ 0,713 & 0,735 & 1 & 0,828 & 0,64 \\ 0,741 & 0,721 & 0,828 & 1 & 0,529 \\ 0,7 & 0,656 & 0,64 & 0,529 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 4,015 \\ 3,973 \\ 3,916 \\ 3,819 \\ 3,525 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1/3 \\ 4/15 \\ 1/5 \\ 2/15 \\ 1/15 \end{pmatrix} \qquad (11)$$

$$K_5 = \begin{pmatrix} 1 & 0,822 & 0,743 & 0,925 & 0,523 \\ 0,822 & 1 & 0,868 & 0,786 & 0,64 \\ 0,743 & 0,868 & 1 & 0,71 & 0,658 \\ 0,925 & 0,786 & 0,71 & 1 & 0,49 \\ 0,523 & 0,64 & 0,658 & 0,49 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 4,013 \\ 4,116 \\ 3,979 \\ 3,911 \\ 3,311 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 4/15 \\ 1/3 \\ 1/5 \\ 2/15 \\ 1/15 \end{pmatrix} \qquad (12)$$

Во втором столбце выражений (10) — (12) приведены суммы элементов строк матриц, анализ которых позволяет выделить экспертную модель с наибольшей парной согласованностью. Видно, что это 3-термовая модель.

Таблица 3

Параметры обобщённой ФП 3-, 4- и 5-термовых моделей

Вид терма	Параметры 3-термовой модели		Параметры 4-термовой модели		Параметры 5-термовой модели	
	одинак. вес. коэф.	вес. коэф. Фишберна	одинак. вес. коэф.	вес. коэф. Фишберна	одинак. вес. коэф.	вес. коэф. Фишберна
Левый	*a* = 0,052 *b* = 0,168	*a* = 0,046 *b* = 0,161	*a* = 0,05 *b* = 0,128	*a* = 0,046 *b* = 0,124	*a* = 0,05 *b* = 0,124	*a* = 0,047 *b* = 0,119
Центральный	*a* = 0,052 *b* = 0,364 *c* = 0,168 *d* = 0,232	*a* = 0,046 *b* = 0,358 *c* = 0,161 *d* = 0,229	*a* = 0,05 *b* = 0,228 *c* = 0,128 *d* = 0,166	*a* = 0,046 *b* = 0,221 *c* = 0,124 *d* = 0,16	*a* = 0,05 *b* = 0,216 *c* = 0,124 *d* = 0,158	*a* = 0,047 *b* = 0,208 *c* = 0,119 *d* = 0,151
Центральный			*a* = 0,166 *b* = 0,4 *c* = 0,228 *d* = 0,312	*a* = 0,16 *b* = 0,403 *c* = 0,221 *d* = 0,318	*a* = 0,158 *b* = 0,318 *c* = 0,216 *d* = 0,262	*a* = 0,151 *b* = 0,314 *c* = 0,208 *d* = 0,256
Центральный					*a* = 0,262 *b* = 0,44 *c* = 0,318 *d* = 0,368	*a* = 0,256 *b* = 0,441 *c* = 0,314 *d* = 0,368
Правый	*a* = 0,232 *b* = 0,364	*a* = 0,229 *b* = 0,358	*a* = 0,312 *b* = 0,4	*a* = 0,318 *b* = 0,403	*a* = 0,368 *b* = 0,44	*a* = 0,368 *b* = 0,441

Сопоставим полученные результаты с результатами определения оптимального числа термов ЛП методом минимизации средневзвешенного квадратического отклонения F_m индивидуальных параметров, задаваемых экспертами, от усреднённых значений этих параметров. Рассмотрим два случая: одинаковых весовых коэффициентов и вычисленных по правилу Фишберна. Распределяя экспертов по степени согласованности их информации с остальными, определим их ранги — они указаны в третьих столбцах выражений (10) — (12). Видно, что в 4- и 5-термовых моде-

лях имеет место система строгих предпочтений, а для 3-термовой модели — система смешанных предпочтений. Поэтому для 4- и 5-термовых моделей вычислим весовые коэффициенты по формуле (6), а для 3-термовой — по формулам (7) — (9). Результаты расчётов представлены в четвёртых столбцах выражений (10) — (12).

Результаты расчётов параметров обобщённой ФП по формуле (5) и величины F_m для обоих рассматриваемых случаев представлены в табл. 3, 4.

В результате анализа полученных показателей выяснилось, что наиболее согласованными при одинаковых весовых коэффициентов экспертов являются 3- и 5-термовые модели, а при разных — 5-термовая модель. Таким образом, для построения обобщённой ФП оптимальное количество термов при различных весах экспертов равно пяти.

Таблица 4

Величины F_m для 3-, 4- и 5-термовых моделей

Модель	F_m	
	одинак. вес. коэф.	вес. коэф. Фишберна
3-термовая	0,005664	0,004968
4-термовая	0,006864	0,005436
5-термовая	0,005744	0,003155

Выводы. Рассмотрены основные этапы методики фаззификации нечёткой экспертной информации, включающие анализ экспертной информации на основе критериев согласованности. Предложено ввести различные весовые коэффициенты экспертов для увеличения согласованности моделей с целью максимальной адекватности нечётких знаний реальной ситуации. Рассмотрен модельный пример ЛП с 3-, 4- и 5-термовой ФП. Вычислены характеристики общей и парной согласованности моделей экспертов, параметры обобщённой ФП в случаях равных весовых коэффициентов и весов Фишберна. На модельном примере показана методика выбора оптимальной модели, используемой на последующих этапах (композиции и дефаззификации) разработки механизма вывода решений.

Библиографический список

1. Борисова, Л. В. К вопросу построения нечёткой экспертной системы продукционного типа для технологической регулировки машин / Л. В. Борисова, В. П. Димитров, А. К. Тугенгольд // Вестник Донского гос. техн. ун-та. — 2008. — Т. 8. — № 3 (38). — С. 278—287.

2. Димитров, В. П. Оценка параметров лингвистических переменных факторов внешней среды / В. П. Димитров, Л. В. Борисова // Искусственный интеллект в XXI веке. Решения в условиях неопределённости: мат-лы V Междунар. науч.-техн. конф. — Пенза, 2007. — С. 30—32.

3. Нечёткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / А. Н. Аверкин [и др.]. — Москва: Наука, 1986. — 312 с.

4. Nedosekin, A. Fuzzy Financial Management / A. Nedosekin. — Moscow: AFA Library, 2003. — 183 p.

5. Программная система для ввода экспертных знаний / В. П. Димитров [и др.] // Вестник Донского гос. техн. ун-та. — 2011. — Т. 11. — № 1 (52). — С. 83—90.

Материал поступил в редакцию 10.09.2011.

References

1. Borisova, L. V. K voprosu postroeniya nechyotkoj e`kspertnoj sistemy` produkcionnogo tipa dlya texnologicheskoj regulirovki mashin / L. V. Borisova, V. P. Dimitrov, A. K. Tugengol`d // Vestnik Donskogo gos. texn. un-ta. — 2008. — T. 8, № 3 (38). — S. 278—287. — In Russian.

2. Dimitrov, V. P. Ocenka parametrov lingvisticheskix peremenny`x faktorov vneshnej sredy` / V. P. Dimitrov, L. V. Borisova // Iskusstvenny`j intellekt v XXI veke. Resheniya v usloviyax neopredelyonnosti: mat-ly` V Mezhdunar. nauch.-texn. konf. — Penza, 2007. — S. 30—32. — In Russian.

3. Nechyotkie mnozhestva v modelyax upravleniya i iskusstvennogo intellekta / A. N. Averkin [i dr.]. — Moskva: Nauka, 1986. — 312 s. — In Russian.

4. Nedosekin, A. Fuzzy Financial Management / A. Nedosekin. — Moscow: AFA Library, 2003. — 183 p.

5. Programmnaya sistema dlya vvoda e`kspertny`x znanij / V. P. Dimitrov [i dr.] // Vestnik Donskogo gos. texn. un-ta. — 2011. — T. 11, № 1 (52). — S. 83—90. — In Russian.

ON EXPERT INFORMATION FUZZIFICATION METHOD

V. P. Dimitrov, L. V. Borisova, I. N. Nurutdinova
(Don State Technical University)

The focal points of the fuzzification method under the fuzzy expert data processing for the logical deduction construction in expert systems are considered. The model pattern of the method application is given.
Keywords: *linguistic variable, membership function, fuzzification, consistency index.*

УДК 631.354.2

Обоснование модели для описания конфигурации валка хлебной массы при подборе его подборщиком

С. М. Красноступ, О. Н. Лесняк
(Донской государственный технический университет),
А. Д. Азаров
(Научно-исследовательский институт механики и прикладной математики им. И. И. Воровича Южного федерального университета)

На основе уравнения цепной линии смоделирована конфигурация валка при подборе его подборщиком. Это позволяет выполнять анализ процесса подбора валка и взаимодействия пальцев подборщика с валком во всех зонах подбора с целью уменьшения потерь зерна при уборке урожая.
Ключевые слова: *подборщик, валок, модель валка, цепная линия.*

Введение. Увеличение производства зерна остаётся основной задачей сельскохозяйственного производства на ближайшие годы. При этом доминирующим способом уборки зерновых является уборка с помощью зерноуборочных комбайнов с широким распространением раздельного комбайнирования.

Однако необходимо отметить, что, несмотря на постоянное совершенствование уборочной техники и способов уборки, потери зерновых значительно превышают нормативные [1—3] и вопрос их снижения остаётся актуальным.

Для подбора уложенных жаткой валков (в процессе уборки раздельным комбайнированием) применяются различные типы навесных подборщиков. В последние годы наиболее распространённым типом подборщика являются полотняно-транспортёрные. Они конструктивно проще и надёжнее в работе по сравнению с другими типами подборщиков. Но, как показала практика, потери зерна за полотняно-транспортёрными подборщиками при их эксплуатации, как и за подборщиками других типов, значительно превышают нормативные.

В настоящее время существует достаточно много патентных предложений по совершенствованию конструкции подборщиков и аналитических работ, направленных на улучшение технологического процесса их работы [4—9], но снижение потерь зерна до нормативных значений остаётся нерешённой задачей.

Во многом это обусловлено тем, что мероприятия, предпринимаемые для уменьшения потерь за подборщиком, осуществляются в большинстве случаев интуитивно ввиду отсутствия общей картины процессов, имеющих место при подборе валка подборщиком. Аналитические исследования [4—9], в свою очередь, выполнены достаточно давно и относятся, как правило, к подборщикам барабанного типа. В основном они направлены на изучение потерь зерна, возникающих вследствие несоблюдения кинематического режима работы подборщика [4—8], движения валка по подборщику, колебаний пальцев подборщика в толще валка [9], а также колебаний подборщика в вертикальной плоскости при подборе валка [10].

Общей картины подбора валка с точки зрения взаимодействия пальцев подборщика с валком во всех зонах подбора, а тем более с его нижней частью, в работах [4—10] не прослеживается.

Кроме того, указанные исследования не имеют целостного характера и не позволяют рассмотреть причины возникновения потерь зерна за подборщиком в полном объёме. В свою очередь, конструктивно-технологические особенности полотняно-транспортёрных подборщиков не допускают полноценного использования имеющихся в литературе аналитических зависимостей при рассмотрении процесса работы данных подборщиков.

Таким образом, для изучения причин возникновения потерь зерна за полотняно-транспортёрным подборщиком необходим комплексный подход при рассмотрении самого процесса подбора валка, важнейшей целью которого является анализ взаимодействия пальцев подборщика с валком в различных условиях эксплуатации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать универсальную модель, описывающую конфигурацию валка в процессе подбора его подборщиком;
2. Исследовать кинематику движения пальца подборщика на нижней ветви транспортёра при различных условиях эксплуатации.

В рамках данной статьи представлено решение первой из перечисленных задач.

Обоснование выбора модели для описания конфигурации валка в зоне подбора. Предварительный анализ научно-технической литературы показал, что на сегодняшний день существуют две модели, описывающие конфигурацию валка при подборе его барабанным подборщиком, представленные В. Н. Гячевой [9] и группой авторов — В. И. Колесниковым, А. А. Ляхом и Н. Г. Поповым [10].

Первая из них [9] предназначена для исследования движения подбираемого валка по барабанному подборщику. Автор рассматривает валок как упруго-деформируемую балку (однородную, изотропную, для которой применим закон Гука), лежащую на стерне и поднимаемую цилиндрическим катком. Такой подход позволил В. Н. Гячевой получить дифференциальное уравнение упругой линии валка, которое, по мнению автора, даёт возможность решать практические задачи, такие, как определение величины сил, действующих на валок и подборщик.

Вторая модель [10] представляет валок в виде дискретной модели, состоящей из набора отдельных масс и упругих связей между ними. Данная модель предложена авторами для решения конкретной задачи — изучения потерь зерна вследствие колебаний подборщика в вертикальной плоскости при движении его по полю — и не позволяет, на наш взгляд, исследовать именно сам процесс подбора валка.

Следует отметить, что представленные модели валка разработаны для решения локальных задач и не являются универсальными, не позволяют всесторонне исследовать взаимодействие пальцев подборщика с валком во всех зонах подбора.

Кроме того, как показывает практика, в зависимости от кинематического режима работы подборщика конфигурация валка в процессе подбора изменяется, то есть валок может растягиваться или сгруживаться перед подборщиком. Соответственно, и точка отрыва валка от стерни является «плавающей», то есть будет отдаляться или приближаться к подборщику. А значит, и прогиб (провисание) валка будет меньше или больше. Моделирование такого поведения валка в процессе подбора в указанных работах [9, 10] не реализуется.

Наблюдения в полевых условиях за технологическим процессом работы жатки и подборщиков валков зерновых культур (барабанных и полотняно-транспортёрных) показали, что валок при подъёме его с поверхности почвы пальцами подборщика и подаче на верхнюю часть подборщика приобретает (за счёт провисания под собственным весом) некоторую конфигурацию, аналогичную кривой, образуемой свободно свисающей цепью, один конец которой закреплён на определённой высоте, а второй — свободно лежит на горизонтальной поверхности.

Эти наблюдения подтверждает и простой эксперимент. Если закрепить конец валка между двумя планками и поднимать его, то до определённой высоты подъёма конфигурация валка будет представлять кривую, аналогичную цепной линии. При определённой высоте подъёма конца валка произойдёт его разрыв.

С учётом полевых наблюдений и экспериментального исследования можно сделать следующие выводы:

а) в реальных условиях структура валка, образуемого валковой жаткой, характеризуется стохастическим порядком укладки стеблей, обусловленным целым рядом факторов — состоянием хлебостоя, физико-механическими свойствами убираемой культуры, конструктивными особенностями жатки и т. д.;

б) конфигурация валка в зоне подбора его подборщиком представляет собой некую кривую, аналогичную конфигурации свободно свисающей цепной линии, одним концом закреплённой на определённой высоте, в то время как второй конец её расположен на почве.

Сохранение формы валка и его целостности обеспечивается только за счёт сил трения и сцепления между стеблями и колосьями как между собой, так и друг с другом. Это обстоятельство обусловливает, с одной стороны, определённую гибкость валка в поперечном направлении, а с другой стороны, возможность его подбора без разрыва (при соблюдении оптимального кинематического режима) любым типом подборщиков.

При этом на качество работы подборщика решающее значение будут оказывать такие характеристики валка, как ширина, толщина и плотность укладки стеблей, которые влияют также и на степень провисания валка при подборе, и на осевое усилие, при котором может произойти разрыв валка.

Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод, что к модели, описывающей конфигурацию валка в процессе подбора и позволяющей изучить процессы, происходящие во всех зонах подбора, могут быть предъявлены следующие требования:

а) модель должна быть универсальной, способной охарактеризовать конфигурацию валка при подборе его любым типом подборщика;

б) модель валка должна быть максимально приближенной к реальным условиям, то есть отражать как технологические параметры самого валка (плотность, толщину и др.), так и конфигурацию валка в процессе его подбора подборщиком при различных режимах его работы;

в) модель должна обеспечить возможность анализа взаимодействия валка с пальцами подборщика в зоне подбора, в зоне перемещения валка для последующей транспортировки и, наконец, в зоне перемещения валка к жатке комбайна.

Если принять допущение, что валок в зоне подбора его подборщиком однороден, имеет одинаковую толщину и плотность укладки стеблей, то, говоря о модели, способной описать конфигурацию валка в зоне подбора его подборщиком любого типа, с учётом требований, предъявляемых к такой модели, можно утверждать, что такой модели наиболее полно соответствует цепная линия (гибкая нерастяжимая нить), один конец которой находится на поверхности подбирающего устройства, а другой — на стерне (далее — почве).

Данная модель конфигурации валка в виде цепной линии позволяет изучить технологический процесс подбора валка во всех зонах подбора.

Моделирование конфигурации валка в процессе подбора его полотнянотранспортёрным подборщиком. Считаем, что цепная линия спадает с транспортёра, изгибается и ложится на почву (стерню). Данный вид цепной линии будет имитировать конфигурацию нижнего контура валка в процессе подбора его подборщиком.

В реальных условиях валок не является одномерной конструкцией как цепная линия, а имеет определённую толщину. При этом часть валка, лежащая на транспортёре, и горизонтальная часть валка (лежащая на почве) соединяются криволинейным слоем.

Важной характеристикой формы валка является радиус кривизны (определяющий провисание валка). Как показывают исследования, в каждой точке цепной линии имеется определённое значение радиуса кривизны, причём значение радиуса в точке сопряжения с валом и радиуса кривизны в точке соединения валка с почвой будут различны. На качество подбора валка большое влияние оказывает величина радиуса кривизны в точке соприкосновения валка с почвой — чем меньше радиус кривизны, тем более круто изменяется форма кривой в окрестности этой точ-

ки. В случае большого радиуса кривизны валок будет сильно вытянут (что предполагает большое натяжение), и наоборот — при малом радиусе кривизны провисающая часть валка будет короче по горизонтали (происходит его складывание).

Форма валка (а значит, и радиус кривизны) зависит от кинематического режима работы подборщика. В процессе подбора недопустимо, чтобы валок сгруживался (складывался в зоне подбора) перед подборщиком. Поэтому, в соответствии с принятыми нами допущениями о свойствах валка в зоне подбора, для описания ограничения складывания валка будем считать (по аналогии с теорией изгиба балок), что плоские сечения валка, нормальные к срединной плоскости, не могут при деформировании проходить друг сквозь друга. Указанное условие выполняется только в том случае, если радиус кривизны валка равен или больше толщины валка. В нашем случае для расчёта формы валка, соответствующей оптимальному технологическому процессу подбора валка (то есть без складывания и чрезмерного растягивания валка), наименьший радиус кривизны (который наблюдается в точке Z, рис. 1) принят равным толщине валка. Если радиус кривизны валка будет больше толщины валка, возникают большие усилия растяжения валка, что приводит к его разрыву (потере целостности).

Таким образом, радиус кривизны модели валка является важной характеристикой валка, определяющей изменение его формы по длине и степень крутизны провисания в процессе подбора.

Учитывая вышеизложенное, имеем:

— конфигурация кривой при указанном расположении цепной линии описывает нижний контур валка;

— цепная линия непрерывна и имеет одинаковые физико-механические свойства по всей длине;

— при расчёте параметров цепной линии для ограничения изгиба валка используем понятие радиуса кривизны, что позволит при определённых его значениях обеспечить оптимальный режим работы подборщика без сгруживания валка в зоне подбора или его разрыва.

Применительно к полотняно-транспортёрному подборщику модель валка будет выглядеть следующим образом.

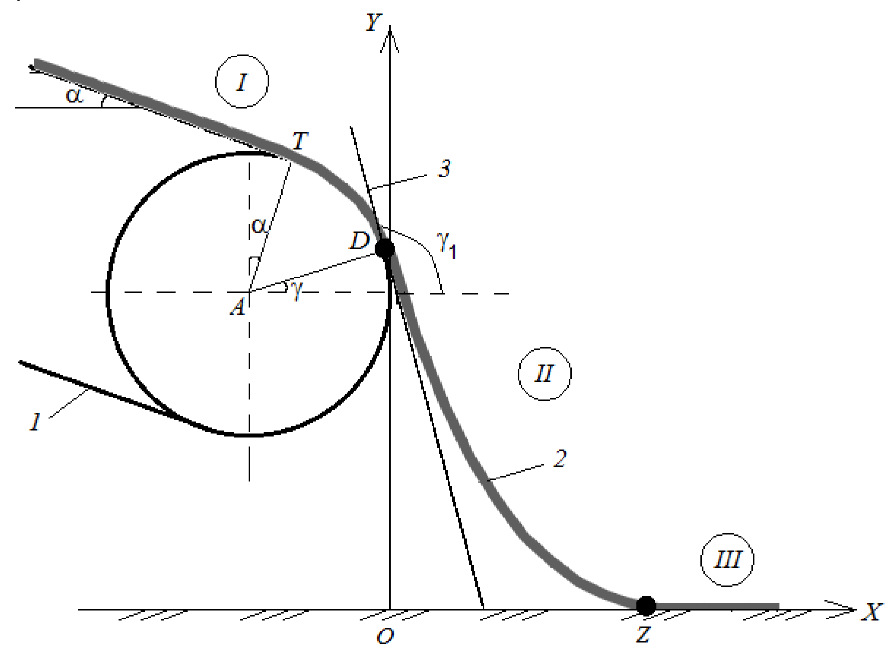


Рис. 1. Схема взаимодействия валка с подборщиком

Представим валок схематично линией, состоящей из трёх характерных частей (рис. 1). Первая часть (*I*) — это валок, находящийся на верхней ветви транспортёра до точки *D*, в которой он отходит от транспортёра. Вторая часть (*II*) начинается в точке *D* и заканчивается в точке контакта валка с почвой *Z*. Эта часть является висящей в воздухе. В третьей части (*III*), начиная с точки *Z*, валок располагается на стерне (почве).

По технологическим требованиям для качественного подбора валка необходимо, чтобы он непрерывной лентой поступал на транспортёр подборщика [1]. Естественно полагать, что все три части валка, обозначенные выше, образуют единую непрерывную гладкую кривую. Основной задачей является определение формы валка на участке *II*, то есть формы кривой *DZ*, включая положения точек *D* и *Z*. Именно на этом участке происходит контакт пальцев подборщика с валком.

В точке *D* валок направлен по касательной к транспортёрной ленте (к валу) и далее, свисая вниз, изгибается, а в точке *Z* плавно переходит на горизонтальную линию поверхности стерни. Такую форму можно описать уравнением цепной линии [11]

$$y(x) = \frac{a}{2}\left[\exp\left(\frac{x + c_1}{a}\right) + \exp\left(\frac{-(x + c_1)}{a}\right)\right] - c_2, \tag{1}$$

где $a = \frac{H}{\rho}$, *H* — горизонтальная составляющая натяжения нити, ρ — вес одного погонного метра нити; c_1 и c_2 — постоянные параметры интегрирования при выводе уравнения, определяющие положение нити в системе координат *XOY*.

Выберем систему координат так, что точка *D* имеет координату $x = 0$. Для рассматриваемого нами валка на участке *II* введём обозначения $b = -c_1$, $d = c_2$ и вычислим производные от функции формы

$$y(x) = \frac{a}{2}\left[\exp\left(\frac{x - b}{a}\right) + \exp\left(\frac{-(x - b)}{a}\right)\right] - d = a \cdot \operatorname{ch}\frac{x - b}{a} - d, \tag{2}$$

$$y'(x) = \operatorname{sh}\frac{x - b}{a}, \tag{3}$$

$$y''(x) = \frac{1}{a}\operatorname{ch}\frac{x - b}{a}. \tag{4}$$

При выборе формы используется также радиус кривизны валка

$$\rho(x) = \frac{\left[1 + \left(y'(x)\right)^2\right]^{3/2}}{y''(x)} = a\operatorname{ch}^2\frac{x - b}{a}. \tag{5}$$

Параметры *a*, *b*, *d* выбираются из граничных условий, с обеспечением гладкости единой формы валка, то есть в крайних точках *D* и *Z* выполняются условия

$$y(0) = c, \quad y(z) = 0$$

$$y'(0) = \operatorname{tg}\gamma_1, \quad y'(z) = 0,$$

где *c* — ещё один неизвестный параметр, высота точки «крепления» валка, то есть ордината точки *D* ($c = OD$ — расстояние от почвы до точки *D*), угол γ_1 — угол наклона касательной к валку в точке *D*. Таким образом, из граничных условий получаем соотношения

$$y(0) = a \cdot \operatorname{ch}\left(\frac{-b}{a}\right) - d = c \tag{6}$$

$$y'(0) = \operatorname{sh}\left(\frac{-b}{a}\right) = \operatorname{tg}\gamma_1 \tag{7}$$

$$y(z) = a \cdot \mathrm{ch}\left(\frac{z-b}{a}\right) - d = 0 \tag{8}$$

$$y'(z) = \mathrm{sh}\left(\frac{z-b}{a}\right) = 0 \tag{9}$$

Из формулы (9) следует, что $b = z$, а из формулы (8) $d = a$, и далее из (6) и (7)

$$c = \left(\mathrm{ch}\left(\frac{-z}{a}\right) - 1\right)a \tag{10}$$

$$\mathrm{sh}\left(\frac{-z}{a}\right) = \mathrm{tg}\gamma_1 \tag{11}$$

Угол γ_1, определяющий направление касательной в точке D (рис. 1), связан с углом γ, определяющим положение точки D на валу (угол между горизонтальной осью OX и линией AD).

$$\gamma_1 = \pi - \xi = \pi / 2 + \gamma \tag{12}$$

Линия AD перпендикулярна к касательной в точке D. В случае, если точка D находится на валу в точке перехода на транспортёр, этот угол наибольший $\gamma = \pi / 2 - \alpha$. Угол α — это угол наклона полотна транспортёра к почве (к горизонтальной оси OX). Если точка D находится на линии центра вала (в нижнем положении) угол наименьший $\gamma = 0$.

Касательная к валу подборщика в точке D является также касательной к свисающему валку в этой же точке и определяется следующим уравнением

$$y(x) = k_{кас} x + b_{кас} \tag{13}$$

$$k_{кас} = \mathrm{tg}\gamma_1 = -\mathrm{ctg}\gamma \tag{14}$$

$$b_{кас} = c \tag{15}$$

Для определения величины c воспользуемся значениями координат центра вала подборщика точки A,

$$x_A = -r\cos\gamma, \quad y_A = c - r\sin\gamma \tag{16}$$

Из соотношения (10), учитывая симметричность функции гиперболического косинуса, получаем

$$\mathrm{ch}\left(\frac{z}{a}\right) = 1 + \frac{c}{a} \tag{17}$$

$$z = a \cdot \mathrm{Arch}\left(1 + \frac{c}{a}\right) \tag{18}$$

Из уравнения (11), с учётом соотношений (14) и свойства гиперболического синуса, находим

$$\mathrm{sh}\left(\frac{z}{a}\right) = \mathrm{ctg}\,\gamma \tag{19}$$

Из (19) получим z

$$z = a \cdot \mathrm{Arsh}(\mathrm{ctg}\gamma) \tag{20}$$

и, с учётом (18), приходим к уравнению для угла γ

$$\mathrm{Arsh}(\mathrm{ctg}\gamma) = \mathrm{Arch}\left(1 + \frac{c}{a}\right) \tag{21}$$

$$\gamma = \mathrm{arcctg}\left(\mathrm{sh}\left(\mathrm{Arch}\left(1 + \frac{c}{a}\right)\right)\right) \tag{22}$$

Из второго соотношения (16) и (22) следует уравнение для параметра c

$$c = y_A + r\sin\left(\mathrm{arcctg}\left(\mathrm{sh}\left(\mathrm{Arch}\left(1 + \frac{c}{a}\right)\right)\right)\right) \tag{23}$$

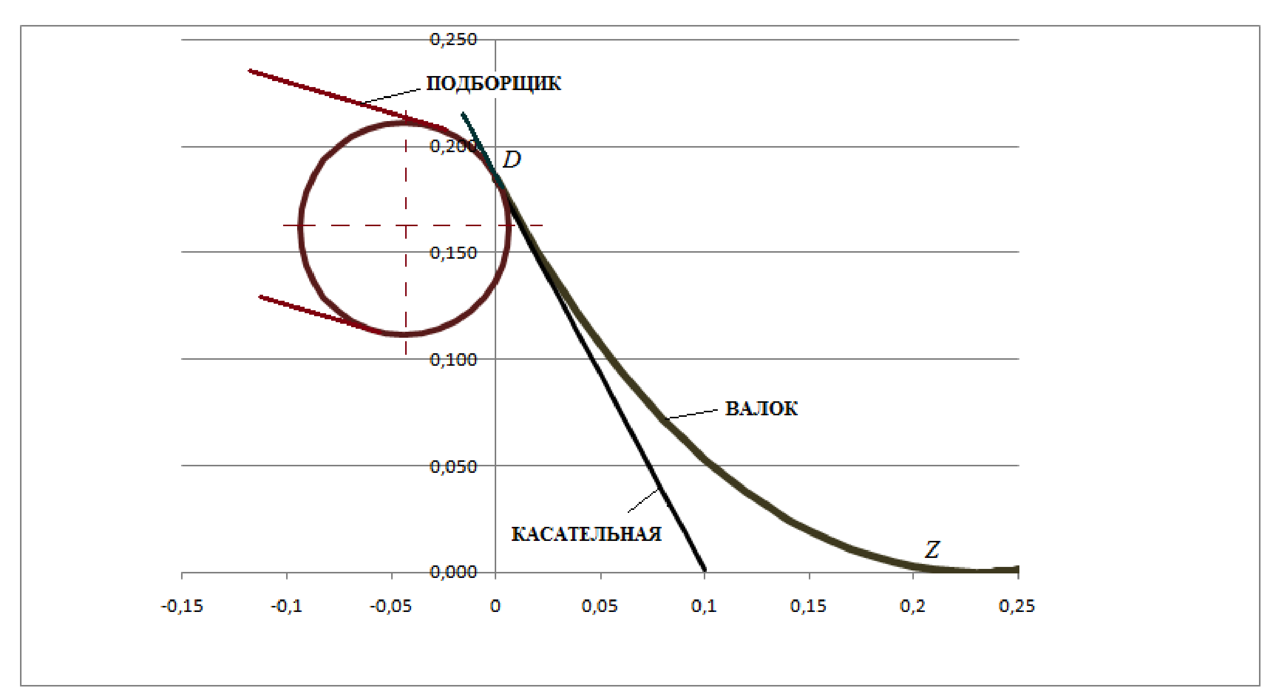


Рис. 2. Расчётная форма цепной линии, моделирующей валок

Учитывая упомянутое выше ограничение изгиба валка, считаем, что $\rho\,(x) \geq \delta_{валка}$.

Анализ показывает, что минимальное значение $\rho\,(x)$ достигается в точке $x = z$

$$\rho(z) = a \qquad (24)$$

Надо отметить, что параметр a отвечает за натяжение нити (см. (1)). Естественным при ограничении параметров валка будет использование минимального условия в неравенстве $\rho\,(x) \geq \delta_{валка}$

$$\rho(z) = \delta_{валка} \qquad (25)$$

Таким образом,

$$a = \delta_{валка} \qquad (26)$$

и уравнение валка приобретает вид

$$y(x) = a\left(\mathrm{ch}\frac{x-z}{a} - 1\right) \qquad (27)$$

Общий вид конфигурации валка, полученный в соответствии с уравнением (27) и представленный на рис. 2, является оценкой крайней нижней образующей валка при подборе.

Заключение. Данная модель допускает её развитие в направлении учёта изменения физико-механических и технологических свойств валка, а также разных кинематических режимов работы подборщика, когда происходит изменение величины z (длины зоны *II*).

Полученная модель валка в виде цепной линии является универсальной моделью и позволяет:

— изучить технологический процесс подбора валка любым типом подборщика, учитывая как кинематический режим его работы, так и условия эксплуатации подборщика;

— изучить процессы, происходящие при подборе валка в целом и в зоне подбора при взаимодействии пальцев полотняно-транспортёрного подборщика с нижней частью валка.

Библиографический список

1. Теория, конструкция и расчёт сельскохозяйственных машин: учебник для вузов сельскохозяйственного машиностроения / Е. С. Босой [и др.]; под ред. Е. С. Босого. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Машиностроение, 1977. — 568 с.

2. Комарова, М. К. Борьба с потерями зерновых колосовых / М. К. Комарова, В. И. Недовесов. — Москва: Россельхозиздат, 1975. — 160 с.

3. Фёдоров, В. Ф. Контроль качества работы зерноуборочного комбайна / В. Ф. Фёдоров, М. В. Богиня // Проблемы современной аграрной науки: мат-лы междунар. заоч. науч. конф., Красноярск, 15 октября 2009 г. / КГАУ. — Красноярск, 2009. — С. 24—29.

4. Каскулов, М. Х. Проблемы уменьшения потерь зерна при уборке зерновых культур / М. Х. Каскулов, Ю. А. Шекихачев, М. Н. Малухов // Вопросы сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. — Москва, 1988. — С. 92—94.

5. Клёнин, Н. И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Н. И. Клёнин, В. А. Сакун. — Москва: Колос, 1994. — 751 с. — (Учебники и учеб. пособия для высш. учебных заведений).

6. Зерноуборочные комбайны / Г. Ф. Серый [и др.]. — Москва: Агропромиздат, 1986. — 248 с.

7. Долгов, И. А. Уборочные сельскохозяйственные машины. (Конструкция, теория, расчёт): учебник. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2003. — 707 с.

8. Гячева, В. Н. О механико-технологических основах теории подборщиков / В. Н. Гячева // Вопросы механизации и электрификации сельскохозяйственного производства: сб. ст. / РИСХМ. — Ростов-на-Дону: РИСХМ, 1972. — Вып. 15. — С. 21—24.

9. Гячева, В. Н. О движении валка как упруго-деформируемой балки / В. Н. Гячева // Вопросы механики деформируемых тел: сб. ст. / РИСХМ. — Ростов-на-Дону: РИСХМ, 1972. — С. 76—79.

10. Колесников, В. И. Моделирование технологического процесса подбора валка зерновых культур / В. И. Колесников, А. А. Лях, Н. Г. Попов // Динамика узлов и агрегатов сельскохозяйственных машин: сб. ст. — Ростов-на-Дону, 1980. — С. 116—120.

11. Рекач, В. Г. Руководство к решению задач прикладной теории упругости / В. Г. Рекач. — Москва: Высшая школа, 1973. — 302 с.

Материал поступил в редакцию 28.02.2012.

References

1. Teoriya, konstrukciya i raschyot sel`skoxozyajstvenny`x mashin: uchebnik dlya vuzov sel`skoxozyajstvennogo mashinostroeniya / E. S. Bosoj [i dr.]; pod red. E. S. Bosogo. — 2-e izd., pererab. i dop. — Moskva: Mashinostroenie, 1977. — 568 s. — In Russian.

2. Komarova, M. K. Bor`ba s poteryami zernovy`x kolosovy`x / M. K. Komarova, V. I. Nedovesov. — Moskva: Rossel`xozizdat, 1975. — 160 s. — In Russian.

3. Fyodorov, V. F. Kontrol` kachestva raboty` zernouborochnogo kombajna / V. F. Fyodorov, M. V. Boginya // Problemy` sovremennoj agrarnoj nauki: mat-ly` mezhdunar. zaoch. nauch. konf., Krasnoyarsk, 15 oktyabrya 2009 g. / KGAU. — Krasnoyarsk, 2009. — S. 24—29. — In Russian.

4. Kaskulov, M. X. Problemy` umen`sheniya poter` zerna pri uborke zernovy`x kul`tur / M. X. Kaskulov, Yu. A. Shekixachev, M. N. Maluxov // Voprosy` sel`skoxozyajstvennogo proizvodstva: sb. nauch. tr. — Moskva, 1988. — S. 92—94. — In Russian.

5. Klyonin, N. I. Sel`skoxozyajstvenny`e i meliorativny`e mashiny` / N. I. Klyonin, V. A. Sakun. — Moskva: Kolos, 1994. — 751 s. — (Uchebniki i ucheb. posobiya dlya vy`ssh. uchebny`x zavedenij). — In Russian.

6. Zernouborochny`e kombajny` / G. F. Sery`j [i dr.]. — Moskva: Agropromizdat, 1986. — 248 s. — In Russian.

7. Dolgov, I. A. Uborochny`e sel`skoxozyajstvenny`e mashiny`. (Konstrukciya, teoriya, raschyot): uchebnik. — Rostov-na-Donu: Izd. centr DGTU, 2003. — 707 s. — In Russian.

8. Gyacheva, V. N. O mexaniko-texnologicheskix osnovax teorii podborshhikov / V. N. Gyacheva // Voprosy` mexanizacii i e`lektrifikacii sel`skoxozyajstvennogo proizvodstva: sb. st. / RISXM. — Rostov-na-Donu: RISXM, 1972. — Vy`p. 15. — S. 21—24. — In Russian.

9. Gyacheva, V. N. O dvizhenii valka kak uprugo-deformiruemoj balki / V. N. Gyacheva // Voprosy` mexaniki deformiruemy`x tel: sb. st. / RISXM. — Rostov-na-Donu: RISXM, 1972. — S. 76—79. — In Russian.

10. Kolesnikov, V. I. Modelirovanie texnologicheskogo processa podbora valka zernovy`x kul`tur / V. I. Kolesnikov, A. A. Lyax, N. G. Popov // Dinamika uzlov i agregatov sel`skoxozyajstvenny`x mashin: sb. st. — Rostov-na-Donu, 1980. — S. 116—120. — In Russian.

11. Rekach, V. G. Rukovodstvo k resheniyu zadach prikladnoj teorii uprugosti / V. G. Rekach. — Moskva: Vy`sshaya shkola, 1973. — 302 s. — In Russian.

MODEL VALIDATION FOR DESCRIPTION OF SWATH CONFIGURATION IN PICKUP ZONE

S. M. Krasnostup, O. N. Lesnyak
(Don State Technical University),
A. D. Azarov
(Research Institute of Mechanics and Applied Mathematics, Southern Federal University)

On the basis of catenary equation the swath configuration in the pickup zone has been simulated. It permits to analyze the pickup process and the fingers — roll interaction in all pickup zones for the purpose of crop waste saving.
Keywords: *pick-up, roll, model of roll, catenary.*

УДК 622.691.4:519.711.3

Использование пакета Simulink для опорно-параметрического моделирования переходных процессов на участке магистрального газопровода

Н. В. Кудинов, Р. А. Нейдорф, Л. А. Журавлёв
(Донской государственный технический университет),
Е. В. Тетеревлёва
(Ухтинский государственный технический университет)

Рассматриваются возможности применения современных пакетов блочно-модульного моделирования в задачах имитации переходных процессов в газовом потоке на участке транспортировки природного газа. Предлагается подход к моделированию в векторном формате пространственно распределённого объекта ячеечной моделью, построенной в специальном нелинейном базисе. Это позволяет решать задачи диагностики и управления потоком в переходных процессах за счёт макроячеечного моделирования баланса его массы и его кинетической энергии. Адекватность начального и конечного состояний ячеечной модели обеспечивается расчётом вектора опорных параметров, характеризующих стационарное течение потока, и сравнением его с этими состояниями.
Ключевые слова: *ячеечная модель, компьютерное моделирование, технологические объекты, участок магистрального газопровода, векторное моделирование, опорные параметры.*

Введение. Для эффективного управления магистральными потоками природного газа, а также диагностики и прогнозирования состояния транспортной системы особое значение имеет возможность математического или имитационного моделирования объекта. Это, прежде всего, касается задачи моделирования динамических процессов транспортировки газа в реальном времени [1]. Процесс транспортировки на участке магистрального газопровода описывается характеристиками потока газа, который в связи с пространственной протяжённостью по свойствам можно отнести к сплошной среде. Подобные процессы описываются в теории гидромеханики, гидро- и газовой динамики, а уравнения, описывающие эти процессы, являются уравнениями в частных производных, определённых для двумерных функций пространства и времени.

Анализ публикаций показал, что рассмотренные в монографиях математические модели газовой среды либо являются слишком общими, либо приведены к какому-то конкретному виду воздействия, например перемещение поршня в сосуде с газом. Поэтому актуальной задачей является получение и исследование применимости математической модели процесса транспортировки технологического агрегата, при минимальном количестве допущений; построение алгоритма, допускающего моделирование реакции на произвольные граничные и параметрические воздействия.

Серьёзной проблемой компьютерного моделирования являются математические особенности модели, такие как нелинейность, пространственно-временная многомерность, большое количество дифференциально-интегральных связей, определяющих необходимость применения численных методов приближённого интегрирования.

Численное моделирование различных технологических процессов всё больше и больше применяется для выявления нештатных ситуаций в моделируемом объекте, уменьшения количества брака при протекании какого-нибудь технологического процесса. Наибольшую техническую завершённость получили те технологии моделирования, которые основаны на моделях математической физики и газогидродинамики, т. е. на тех моделях, которые в докомпьютерный период были реализованы как лабораторные установки. Большое количество теоретических исследований, в частности изучение свойств моделей при предельных переходах, были проведены и опубликованы для моделей сплошной среды — газа, жидкости, кристаллов, электромагнитного поля.

Ещё одной развитой областью приложения численного моделирования являются важные для народного хозяйства технологические процессы. К наиболее законченным решениям в этой области относятся компьютерные модели струн, мембран, балок, тепловых полей в твёрдых веществах, линий электрической и оптической связи, потоков, обтекающих летательные аппараты и плавсредства.

Моделирование накопительно-транспортировочных переходных процессов, протекающих в газотранспортной сети, недостаточно хорошо изучено. Большая часть публикаций посвящена моделированию статических режимов, оптимизации режимов компрессорных агрегатов и методам диагностики самого газопровода как аппарата транспортировки. В данной работе моделируются динамические процессы перераспределения плотности, скорости и давления газа в результате переноса и распространения колебаний в движущемся по газопроводу газе.

Теоретический анализ задачи. Исходная математическая модель, представляющая изотермический процесс (режим, характерный для трубопроводов дальней транспортировки газа при его грунтовой прокладке) передачи потоком газа массы вещества и преобразования его механической энергии, описывается математической системой следующего вида:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\frac{\partial \varepsilon}{\partial x}; \tag{1}$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = -2 \cdot \frac{\varepsilon}{\rho} \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + \left(\left(\frac{\varepsilon}{\rho} \right)^2 - \frac{R \cdot T}{\mu} \right) \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} - \frac{4}{D} \cdot \lambda \cdot \varepsilon \cdot \left| \frac{\varepsilon}{\rho} \right|. \tag{2}$$

Здесь $\rho = \rho(x, t)$, $w(x, t)$ и $\varepsilon = \varepsilon(x, t) = \rho(x, t) \cdot w(x, t)$ — плотность и скорость транспортируемого газа, а также переменная состояния (ПС) потока газа, имеющая физический смысл массового расхода, соответственно. Обе переменные изменяются в общем случае в пространстве и во времени. Константы модели и начальные условия для переменных состояния заданы следующими значениями: $R = 8{,}3144$ Дж/моль К; $T_0 = 303$ К; $\mu = 0{,}01604$ моль; $\rho_0 = \rho(0, 0) = 47{,}7521$ кг/м^3; $\varepsilon_0 = 506{,}268$ м^2; $D = 1{,}22$ м; $\lambda = 0{,}000661$ м^4/с^3 [1].

Рассмотрим подход к дискретизации параметров $\rho = \rho(x, t)$ и $\varepsilon = \varepsilon(x, t)$ модели (1) — (2) на примере более простой модели переноса концентрации вещества [2]. Разобьём процесс протекания на элементарные объёмы — ячейки (см. рис. 1). Допустим, что в пределах ячейки концентрация постоянна, тогда концентрацию на каждом участке можно характеризовать одной переменной — C и сопоставить её с одной точкой внутреннего пространства участка. Множество таких точек называется пространственной сеткой.

Пространственно-временная аппроксимация градиентов в узлах этой сетки (а иногда и между ними), позволяет получить аппроксимированную математическую модель, описываемую системой дифференциальных уравнений, которые можно решить с помощью различных численных методов. Такой подход, в котором сетка строится по пространству, а во времени модель сохраняет свои континуальные свойства, называется полудискретизацией.

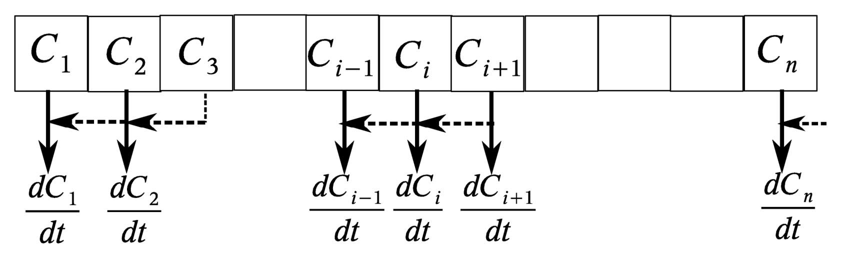


Рис. 1. Пространственная сетка и расчётная схема моделирования процесса передачи концентрации вещества

Возможности современных пакетов программ в плане программной реализации алгоритмов, построенных на описанных методах, позволяют не только использовать стандартные методы из библиотек подпрограмм инженерных расчётов, но и осуществить блочно-модульное построение модели подобного распределённого объекта. Наиболее эффективной и компактной может быть ячеечная

модель любого распределённого процесса в среде пакета Simulink за счёт использования возможностей межблочной передачи векторных сигналов и применения синтаксиса языка системы MATLAB для дополнительной обработки подобных векторных сигналов.

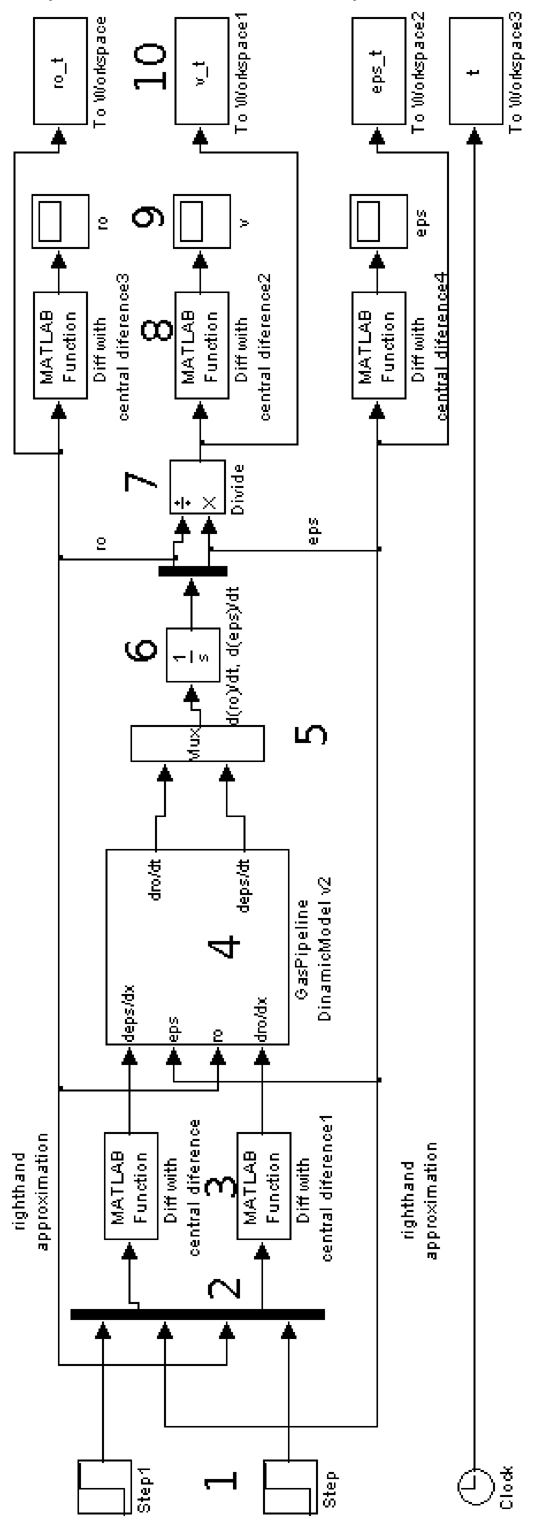


Рис. 2. Модель распределённого объекта в среде пакета Simulink

Например, при реализации ячеечной модели участка магистрального газопровода (1) — (2) элементы этого языка позволяют непосредственно в схеме вычислять конечные разности для

аппроксимации градиентов (рис. 2) в (1) — (2). Эти же возможности позволяют обеспечить инициализацию векторного интегратора одномерным вектором начального состояния.

В состав схемы моделирования входят: *1* — программный формирователь ступенчатого параметрического перехода; *2* — мультиплексор, используемый для сведения значений граничных параметров с сигналами о состоянии для вычисления градиентов; *3* — дифференциатор первого порядка точности, основанный на следующей формуле вычисления приращения между дискретными аргументами:

$$\Delta_x(\cdot)_i = (\cdot)_I - (\cdot)_{i-1}. \qquad (3)$$

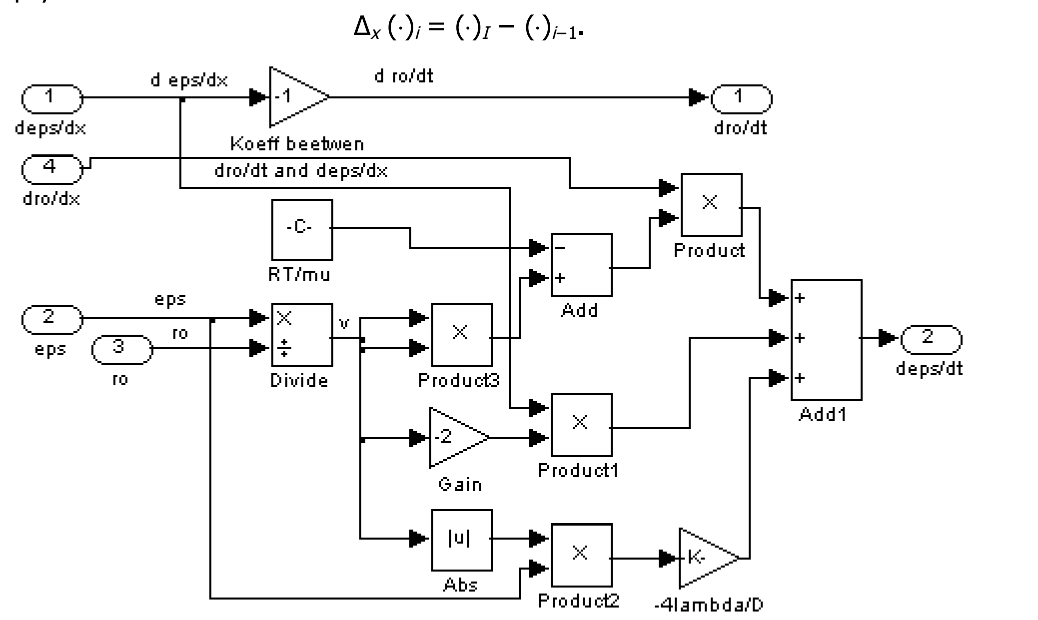


Рис. 3. Алгебраические законы формирования изменений на интеграторах, моделирующих состояние динамической системы

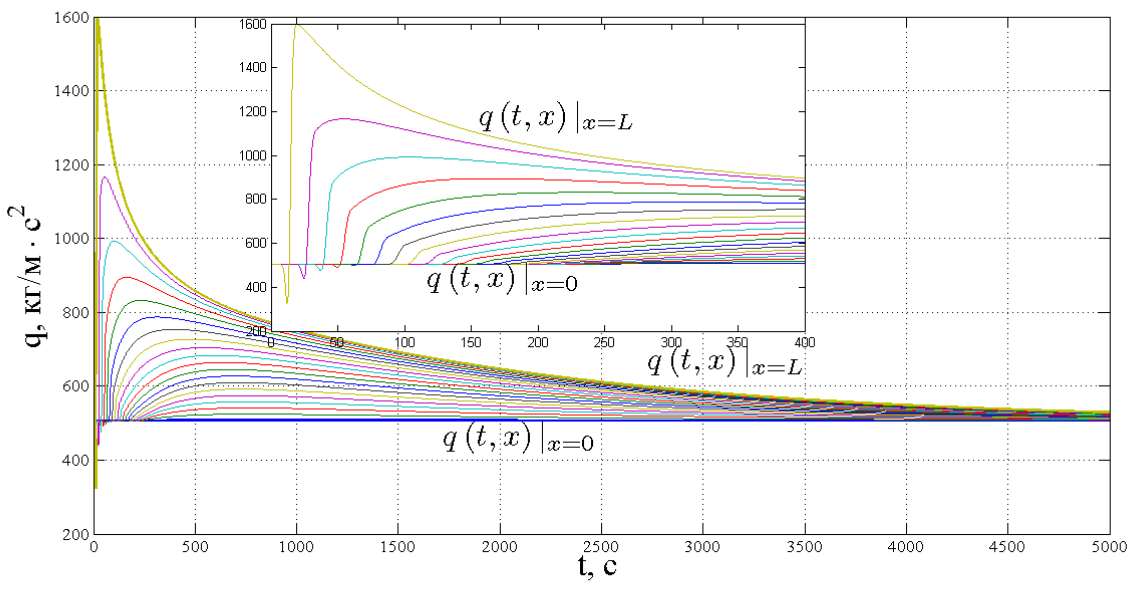


Рис. 4. Переходные процессы по расходу в сечениях участка магистрального газопровода

Блок *4* реализует моделирование конкретных законов накопления массы, импульса, энергии (рис. 3) при движении, соотнесённых с узлами сетки, обеспечивая сохранность этих параметров в движущемся потоке газа. Мультиплексор *5* из двух векторных сигналов об изменении состояния формирует один общий, который затем интегрируется блоком *6*. Делитель *7* вычисляет сигнал, характеризующий скорость потока газа. Группа блоков *8* обеспечивает выборку каждого

десятого сигнала для наблюдения на осциллографах *9* и создания истории изменения состояния в рабочей области системы MATLAB *10*.

На рис. 3 показан модуль схемы, осуществляющий аппроксимацию градиентов, входящих в (1), (2), перерасчёт их по этой модели в величины, характеризующие интенсивности накопления, и, в соответствие с моделью (1) — (2), равных производным параметров ρ и ε.

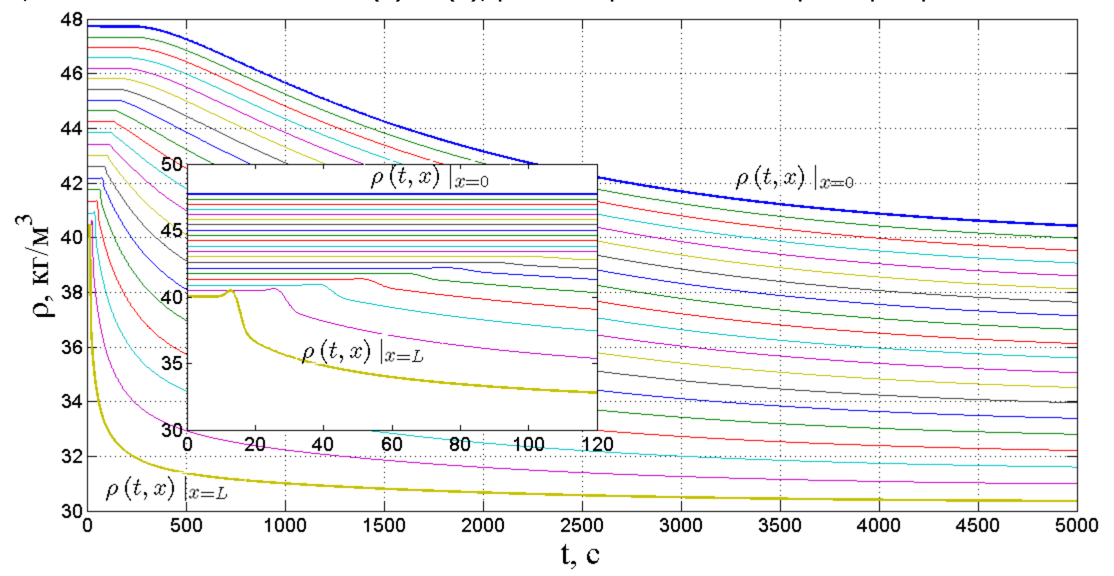


Рис. 5. Переходные процессы по плотности в сечениях участка магистрального газопровода

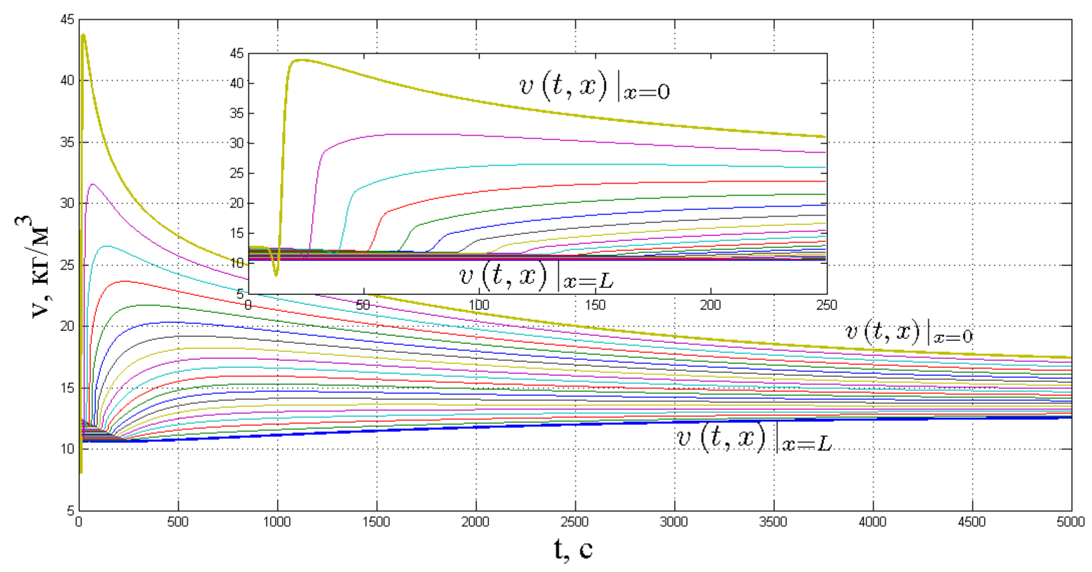


Рис. 6. Переходные процессы по скорости потока в сечениях участка магистрального газопровода

Наиболее исследованными параметрами распределённых объектов являются их статические профили, которые измеряются датчиками и моделируются в контурах АСУ ТП устройствами промышленной автоматики. Поскольку моделируемую систему можно рассматривать как сложный нелинейный объект, то его статический профиль отождествляется с его аттрактором (притягивающим многообразием). В силу процессов самовыравнивания плотности и диссипационных процессов, динамические процессы по переменным, характеризующим состояние объекта, должны затухать. Именно такое поведение компьютерной модели свидетельствует о том, что погрешности аппроксимации и вычислений не накапливаются, а нивелируются модельной вязкостью и дисси-

пацией. Из сказанного можно сделать вывод, что установившееся значение параметров модели динамики должно соответствовать конкретизированным уровням статических профилей.

Результаты исследований. Эксперименты с однонаправленными и разнонаправленными разностями, аппроксимирующими градиенты расхода и плотности, показали, что можно добиться устойчивого математического моделирования ударных волн и явления массопереноса, если в уравнении баланса массы (1) использовать противопотоковые (левосторонние) пространственные аппроксимации, а для уравнения импульса разности по потоку — правосторонние.

Имитационные исследования показали устойчивость переходных процессов, которые сходятся к уровням, соответствующим профилю, просчитанному после изменения расхода на входном участке и плотности на выходном. Графики (рис. 4—6) построены для случая 75 % уменьшения плотности скачком в момент времени $t_{воздействия}$ = 1 с.

В результате получена компьютерная модель переходных и установившихся режимов транспортировки природного газа. Эта модель позволяет провести исследование применимости многосеточных методов моделирования, основанных на том свойстве модели, что переходные процессы разделяются на две группы — быстрые и медленные (см. рис. 4—6). Данная модель позволяет создать и протестировать алгоритмы моделирования с повышенным по пространству порядком точности, за счёт применения методов сплайн-дифференцирования — это позволит использовать более грубую пространственную сетку.

Библиографический список

1. Нейдорф, Р. А. Расчёт опорных параметров транспортируемых газовых потоков для задач имитационного моделирования / Р. А. Нейдорф, Е. В. Тетеревлёва, З. Х. Ягубов // Системный анализ, управление и обработка информации: сб. тр. 2-го Междунар. семинара / под общ. ред. Р. А. Нейдорфа. — Ростов-на-Дону: Изд. центр Донск. гос. техн. ун-та, 2011. — С. 406—416.

2. Кудинов, Н. В. Алгоритмы моделирования типовых распределённых химико-технологических объектов / Н. В. Кудинов, А. А. Болдырева, Е. В. Тетеревлёва // Системный анализ, управление и обработка информации: тр. 1-го Междунар. семинара студентов, аспирантов и учёных / под общ. ред. Р. А. Нейдорфа. — Ростов-на-Дону: Изд. центр Донск. гос. техн. ун-та, 2010. — С. 68—74.

Материал поступил в редакцию 16.10.2011.

References

1. Nejdorf, R. A. Raschyot oporny`x parametrov transportiruemy`x gazovy`x potokov dlya zadach imitacionnogo modelirovaniya / R. A. Nejdorf, E. V. Teterevlyova, Z. X. Yagubov // Sistemny`j analiz, upravlenie i obrabotka informacii: sb. tr. 2-go Mezhdunar. seminara / pod obshh. red. R. A. Nejdorfa. — Rostov-na-Donu: Izd. centr Donsk. gos. texn. un-ta, 2011. — S. 406—416. — In Russian.

2. Kudinov, N. V. Algoritmy` modelirovaniya tipovy`x raspredelyonny`x ximiko-texnologicheskix ob``ektov / N. V. Kudinov, A. A. Boldy`reva, E. V. Teterevlyova // Sistemny`j analiz, upravlenie i obrabotka informacii: tr. 1-go Mezhdunar. seminara studentov, aspirantov i uchyony`x / pod obshh. red. R. A. Nejdorfa. — Rostov-na-Donu: Izd. centr Donsk. gos. texn. un-ta, 2010. — S. 68—74. — In Russian.

USING SIMULINK PACKAGE FOR TRANSIENT SUPPORT-PARAMETRIC SIMULATION IN GAS PIPELINE SECTION

N. V. Kudinov, R. A. Neydorf, L. A. Zhuravlev
(Don State Technical University),
E. V. Teterevleva
(Ukhta State Technical University)

The possibilities of the modern software package of block-modular simulation to the transient simulation tasks in the gas stream in the natural gas transportation area are considered. An approach to modeling in vector format the spatially distributed cell model object generated on the special nonlinear basis is offered. This permits to solve the problems on diagnosis and flow control in the transient processes by macro-cellular modeling of its mass and kinetic energy balance. The adequacy of the starting and ending state of the cell model is provided by the calculation of the reference-parameter vector that characterizes the steady-state flow, and by comparing it with these states.
Keywords: *cell model, computer simulation, processing facilities, gas pipeline section, vector simulation, reference parameters.*

УДК 631.361

Совершенствование молотильного аппарата интенсивного действия

Г. А. Кузин, Л. М. Грошев, И. А. Хозяев
(Донской государственный технический университет)

Показано, что молотильный аппарат интенсивного действия (МАИД), включающий барабан с гладкими бичами и подбарабанье с выпуклым входом и наклонными планками с полками (_/-образные планки) без прутков на остальном протяжении, может стать эффективнее при более полном учёте физико-механических свойств обмолачиваемого материала. Дано обоснование возможности изменения геометрии классических межбичевых пространств при снижении сопротивления подбарабанья. Приведены результаты лабораторных и хозяйственных испытаний МАИД.
Ключевые слова: *молотильный аппарат, барабан, подбарабанье, гладкий бич, лобовая поверхность, испытания, агротехнические показатели назначения.*

Введение. Молотильный аппарат интенсивного действия обеспечивает хорошее качество обмолота. Однако его возможности могут быть существенно расширены за счёт использования гладких бичей с развитыми лобовыми отражающими поверхностями.

Потери зерна при уборке, роль молотильного аппарата (МА). Снижение потерь зерна при уборочных работах играет важнейшую роль в решении продовольственной программы страны.

Основным уборочным агрегатом (70 % парка) является однобарабанный зерноуборочный комбайн. 30 % приходится на машины других типов для работы в экстремальных положительных или отрицательных условиях.

При уборке хлебов наибольшую долю составляют потери за молотилкой комбайна. В соответствии с агротребованиями, эти потери при оптимальных условиях не должны превышать 1,5 %. Однако реально они значительно выше и достигают 12 % и более, что эквивалентно миллионам тонн утраченного продукта.

Главным агрегатом молотилки является молотильный аппарат, формирующий условия работы конечных сепараторов — соломотряса и очистки. Именно от успешной работы молотильного аппарата зависит нормальное функционирование последних и комбайна в целом.

За время существования создано и испытано большое число типов молотильных аппаратов. Однако в конечном итоге наибольшее распространение получил агрегат с бильным барабаном и прутково-планчатым подбарабаньем, который принято называть классическим.

Этому молотильному аппарату более двухсот лет, но и современная конструкция мало чем отличается от своего раннего предшественника.

Сегодня актуальное требование снижения потерь вступило в противоречие с возможностями основного рабочего органа зернокомбайна. Попытки решить проблему за счёт увеличения габаритов исчерпали себя. Нужны другие подходы.

Причины. Сегодня подавляющее большинство комбайнов, находящихся в эксплуатации, снабжены классическими молотильными аппаратами. Их пропускная способность в расчёте на одну машину представляет ряд: 3, 5, 7, 10 и более кг/с. Налицо существенное различие. Однако в пересчёте, например, на единицу площади сепарации различие исчезает.

Всякий раз, когда требуется увеличить пропускную способность, конструкторы обращаются к испытанному средству — увеличению габаритов уборочного агрегата. Рост познаний в области структуры обмолачиваемой среды и процессов в ней отставал настолько, что существенно повысить удельные показатели (например, на единицу площади сепарации) по пропускной способности было невозможно.

Слабое представление о происходящем в молотильном пространстве объясняется исключительно сложной структурой обмолачиваемой среды и протекающих в ней взаимосвязанных технологических процессов. До сих пор нет достаточно приемлемой обобщённой модели. А те, которые есть, — непригодны для практического применения [1]. Это дало основание автору работы [2] сделать довольно мрачный прогноз по поводу будущего однобарабанной схемы зерноуборочного комбайна.

Выход. С точки зрения перспектив современный молотильный аппарат выглядит консервативным агрегатом. В то же время требования к его работе в составе комбайна остаются столь же высокими, что и ранее: увеличение производительности при минимуме потерь.

По мнению В. П. Горячкина, выход из создавшегося положения следует искать на основе проникновения в суть процесса обмолота путём углублённого исследования и более полного учёта физико-механических свойств рабочей среды.

Очевидно, что только существенная, хотя и труднодостижимая подвижка в знаниях физики процесса обмолота поможет преодолеть возникший «экспоненциальный тупик» в теории сепарации и его «габаритное» сопровождение, а также недостатки «усталостной» теории отделения зерна от колоса как единственно возможной.

Можно предположить, что изыскание рациональных параметров рабочих органов молотильно-сепарирующего устройства на базе уточнённых представлений о структуре и свойствах обмолачиваемого материала является тем направлением совершенствования зерноуборочного комбайна, которое и позволит выйти на качественно более высокий уровень на пути повышения удельных характеристик.

Упругость, дискретность, прозрачность. Одним из таких свойств может быть свойство *упругости* стеблей, которым они обладают, находясь на корню, в наклонной камере и на входе молотильного пространства. Конечная протяжённость стеблей — очевидный факт. Однако практически во всех теоретических построениях *дискретность* игнорируется.

Сегодня растительную массу в молотильном пространстве чаще всего представляют как сплошную среду с плотной упаковкой соломистого материала. Представление о плотной упаковке стеблей в молотильном пространстве базируется на результатах скоростной киносъёмки, выполненной с торца молотильного барабана. Дальнейшими экспериментальными исследованиями выявлены существенные несоответствия между исходными теоретическими предпосылками и реальным положением дел.

Киносъёмка, выполненная Н. И. Клёниным [3] с направления, перпендикулярного поверхности подбарабанья (быстровращающийся барабан становится прозрачным экраном), показала, что хлебная масса перемещается разрежённым потоком. В зависимости от положения по углу обхвата средний просвет между стеблями изменяется в диапазоне от 1 см (на входе) до 1,5—2 см на выходе из молотильного канала.

В. Г. Антипин и В. М. Коробицын [4] подтвердили наличие свободных промежутков между движущимися стеблями (*прозрачность слоя*), одновременно указав на плотную упаковку стеблей при чрезмерных подачах и повышенной влажности соломы.

В работе [5] выполнена киносъёмка при расположении камеры под декой комбайна СК-4 при подаче 4 кг/с. Несмотря на помехи со стороны выделяемых фракций и пыли, на кадрах отчётливо просматриваются существенные промежутки между стеблями, что подтверждает наличие «прозрачного слоя».

Таким образом, произошёл сдвиг в представлении о структуре растительной массы в молотильном пространстве — от среды с плотной упаковкой стеблей к среде с разрежённо-плотной упаковкой.

Гипотезы. В силу упругости стебли не копируют входную вогнутую поверхность подбарабанья, а перемещаются с сохранением упругой линии. А это означает, что в этой области молотильного

пространства существует *«мёртвая зона»*, в которую проникают, но не могут обмолотиться колосья. В силу дискретности стебли при своём продвижении упираются в планки, затормаживаются и «выпучиваются» вследствие этого в межбичевые пространства. В силу прозрачности слоя, зёрна, отражённые барабаном, рассеиваются на решётке подбарабанья, отражаются от него и проникают в межбичевые пространства.

Молотильный аппарат интенсивного действия (МАИД). Смещение входных планок к барабану в соответствии с упругой линией стеблей интенсифицирует обмолот. Теперь он осуществляется не только ударом, но и перетиранием в зоне образовавшегося в результате смещения ещё одного (помимо выходного) минимального зазора. Это даёт возможность произвести на входе практически полный вымолот зерна из колосьев, устранить прутки в средней и выходной частях подбарабанья и заменить рифлёные бичи гладкими.

Наклон планок в средней и выходной частях подбарабанья по ходу движения обмолачиваемой массы позволяет уменьшить сопротивление подбарабанья потоку стеблей, снизить повреждение соломистой массы и сократить потери зерна за соломотрясом. При этом использованы _/-образные планки, число которых существенно сокращено по сравнению с эталонной конструкцией.

Наклон планок снижает сопротивление подбарабанья перемещению потока стеблей, что позволяет уменьшить захватывающую способность молотильного барабана путём установки гладких бичей вместо рифлёных.

Определённые шаги в развитии теории и практики обмолота хлебной массы выполнены в ДГТУ. Здесь на основе учёта выделенных ранее свойств (упругости, дискретности и прозрачности), а также совокупности результатов исследований процессов обмолота, сепарации и повреждения разработаны новые технологические принципы и на их основе созданы рабочие органы молотильного аппарата интенсивного действия (рис. 1).

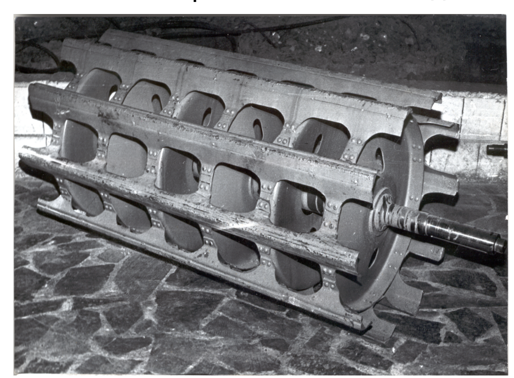




Рис. 1. Барабан и подбарабанье молотильного аппарата интенсивного действия зерноуборочного комбайна «Дон-1500»

Молотильный аппарат прошёл проверку в хозяйственных условиях и на МИС. Смещение планок к барабану использовано при создании приспособлений ПКК-8 и ПКК-10 для уборки крупяных культур. Приспособления входили в систему машин 1981—1990 годов.

Установлено, что опытные образцы обладают хорошим потенциалом и рекомендованы для устранения недостатков и дальнейшего выявления преимуществ на других культурах и в других регионах РФ. В настоящее время эта работа продолжается.

Неиспользованные возможности МАИД. В дополнение к выполненным конструктивным изменениям (смещение входных планок к барабану, введение наклонных планок, устранение прутков, установка гладких бичей) становится допустимым и другое изменение конструкции.

Дискретность стеблей и *прозрачность* слоя позволяют обосновать рациональные параметры отражающей межбичевой поверхности молотильного барабана и тем самым продолжить совершенствование МАИД.

В межбичевые пространства, как известно, проникают стебли и зёрна. Очевидно, что динамическое воздействие барабана на них должно быть минимальным. Это и имеет место в классическом молотильном аппарате. В нём при нормальной работе стебли периодически заполняют и покидают межбичевое пространство. Такой баланс обеспечивают принятые размеры межбичевых окон. Уменьшать их объёмы без отрицательных последствий нельзя. Опыт показывает, что уменьшение приводит к повышенному повреждению стебельной массы. Таким образом, в существующей конструкции параметры межбичевых окон оптимальны с точки зрения обеспечения работоспособности агрегата и целостности стеблей.

По-другому обстоит дело с проникшими зёрнами. Их отражение к поверхности подбарабанья зависит от угла наклона лобовых поверхностей бича и подбичника, а этот наклон таков, что отражённые барабаном зёрна атакуют решётку подбарабанья под острыми углами, что, как известно, уменьшает вероятность сепарации [6]. С другой стороны, малому отклонению лобовой поверхности от радиального направления соответствует значительная величина нормальной составляющей ударного импульса, являющейся главной причиной дробления зерна [7]. Улучшить ситуацию можно за счёт увеличения угла отклонения, но в эталонной конструкции это сделать невозможно из-за ограничений со стороны стебельной массы.

Можно предположить, что при меньшем сопротивлении подбарабанья будет иметь место меньшее проникновение стебельной массы в межбичевое пространство, что оставляет больше возможностей для увеличения угла отклонения лобовой поверхности, который может достигнуть максимума, например, в молотильном барабане закрытого исполнения.

Снижение сопротивления перемещению хлебной массы в молотильном пространстве обеспечивает подбарабанье со специальными планками _/-образного профиля (как в МАИД), которые, в отличие от радиальных, создают лишь сопротивление трения. В настоящее время закономерности проникновения стеблей в межбичевое пространство в зависимости от сопротивления подбарабанья не изучены.

Для определения рациональной формы и размеров межбичевой поверхности барабана с подбарабаньем, обеспечивающим малое сопротивление потоку хлебной массы, решена задача об изгибе стебля как упругого стержня под воздействием бича и планки (задача об устойчивости при продольном изгибе).

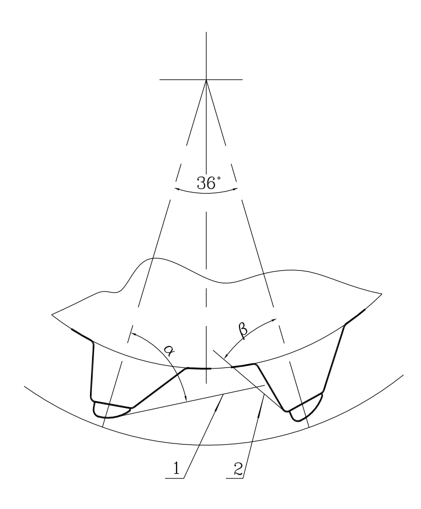


Рис. 2. Схема аппроксимации межбичевой отражающей поверхности: 1 — восходящая ветвь (лобовая поверхность); 2 — нисходящая ветвь

Найдены также параметры формы из условия однократности соударений зёрен с барабаном. Вид рациональной отражающей поверхности схематически представлен на рис. 2.

Критическое значение угла отклонения восходящей ветви от радиального направления (α) найдено из условия обеспечения целостности стеблей. Критическое значение угла отклонения нисходящей ветви от радиального направления (β) найдено из условия невозможности столкновения с ней отражённого от подбарабанья зерна.

Следовательно, если восходящая и нисходящая ветви будут отклонены от радиального направления на углы α и β, то такое оформление межбичевой поверхности даст наибольший эффект как с точки зрения повреждения стеблей, так и с точки зрения оптимальности отражения зёрен и сохранения их целостности.

Компьютерная модель процесса ударной сепарации. Перемещение свободных зёрен в подбое к выходу можно представить как совокупность последовательных отражений от барабана и подбарабанья и оптимизировать параметры последних с точки зрения эффективности сепарирующего действия и минимального повреждения зерна.

С этой целью разработана математическая модель процесса ударной сепарации, в которой потери зерна за молотильным аппаратом связаны со скоростью вращения молотильного барабана, зазорами, приведённым радиусом зерна и его физико-механическими свойствами (коэффициентом восстановления, влажностью и др.), параметрами отражающих поверхностей: диаметром и числом бичей барабана, углом наклона лобовой поверхности подбичника, числом, толщиной и шагом планок, радиусом заострения кромок, смещением планок к барабану, углом отклонения планок от радиального положения.

В соответствии с моделью А. Ю. Пахомовым разработаны алгоритм и программа (на языке Turbo Pascal) расчёта отклика (потери за молотильным аппаратом), использованные при проведении имитационных экспериментов.

Проверка адекватности модели осуществлена на стенде (шириной 0,3 м), позволяющем имитировать процесс сепарации свободного зерна, включающем молотильный барабан и подбарабанье зерноуборочного комбайна «Дон-1500» и систему лотков для подведения свободного зерна под удар бичей [8, 9]. После ударного воздействия зёрна рассеивались на решётке деки. При этом большая их часть сепарировалась, а остальные отражались к барабану под разными углами с потерей скорости, после чего процесс повторялся. Таким образом, некоторая часть зёрен достигала выхода из молотильного канала, условно составляя потери. Просеявшееся зерно распределялось в четырёх зонах.

Опыты проведены для двух положений отражающих поверхностей барабана (см. рис. 3): а) с билами серийного исполнения; б) с билами, имеющими «тангенциальную» лобовую поверхность. Преимущество второго исполнения бил с точки зрения сепарации обосновано в работе [6]. Результаты опытов приведены в таблице и представлены на рисунке. В таблице данные, относящиеся к барабану закрытого исполнения, выделены курсивом. Сравнение результатов натурного и имитационного экспериментов выполнено по критерию потерь. При этом установлено, что различие в показателях составляет 15 %.

Анализ данных, относящихся к барабану открытого исполнения (рис. 3, *а*), показывает, что потери зависят как от частоты вращения барабана, так и от зазоров. Потери растут с увеличением зазоров, что можно объяснить сокращением числа попыток просеивания [10].

Потери увеличиваются с ростом скорости бичей, что можно объяснить увеличением вероятности просеивания с приближением лобовой поверхности била к тангенциальному положению. При этом следует отметить, что при любом режиме потери значительны и варьируют в диапазоне 3,44—5,00 %. При троекратном и более повторении опытов установлено, что различие выборочных средних существенно в большинстве случаев.

Несколько иная картина наблюдается в случае барабана закрытого исполнения (рис. 3, *б*), Здесь также величина потерь зависит от частоты вращения барабана и зазоров. Особенность состоит в том, что с ростом скорости бичей потери возрастают, а не убывают, как в предыдущем случае. По-видимому, это связано с возрастанием тангенциальной составляющей импульса с ростом скорости бичей.

Результаты натурного и имитационного экспериментов дают совпадение лишь на качественном уровне, что говорит о необходимости дальнейшего усовершенствования модели процесса ударной сепарации (учёт трёхмерности, вращения зёрен и т. д.). В то же время такая модель может быть использована при разработке новых конструкций рабочих органов молотильного аппарата на стадии проектирования.

Распределение зерна по зонам подбарабанья молотильного аппарата с барабаном открытого и *закрытого* исполнения

№	Зазоры, мм	Частота вращения, об/мин	Зона				
			I	II	III	IV	V (потери)
1	24×6	400	56,66 % *70,70 %*	21,84 % *18,38 %*	11,02 % *6,93 %*	6,26 % *2,87 %*	4,22 % *0,97 %*
2		550	56,38 % *68,93 %*	21,18 % *18,59 %*	10,66 % *7,48 %*	7,61 % *3,76 %*	4,17 % *1,25 %*
3		700	56,65 % *68,54 %*	20,96 % *18,37 %*	11,50 % *8,08 %*	9,69 % *3,82 %*	3,44 % *1,18 %*
4	28×7	400	54,89 % *68,76 %*	21,72 % *18,43 %*	11,40 % *8,12 %*	7,33 % *3,44 %*	4,66 % *1,24 %*
5		550	54,08 % *66,09 %*	22,71 % *20,08 %*	11,13 % *8,08 %*	7,81 % *4,28 %*	4,27 % *1,45 %*
6		700	55,09 % *64,76 %*	22,09 % *20,84 %*	11,13 % *8,30 %*	7,70 % *4,68 %*	3,98 % *1,42 %*
7	32×8	400	55,31 % *66,90 %*	20,92 % *19,19 %*	11,55 % *8,56 %*	7,23 % *3,95 %*	5,00 % *1,39 %*
8		550	55,01 % *65,38 %*	23,56 % *18,99 %*	11,16 % *9,27 %*	7,80 % *4,67 %*	4,05 % *1,70 %*
9		700	54,41 % *65,56 %*	21,88 % *19,09 %*	11,64 % *9,10 %*	8,09 % *4,70 %*	3,98 % *1,55 %*

Модель позволила в первом приближении подтвердить рациональность обоснованных ранее параметров отражающих межбичевых поверхностей.

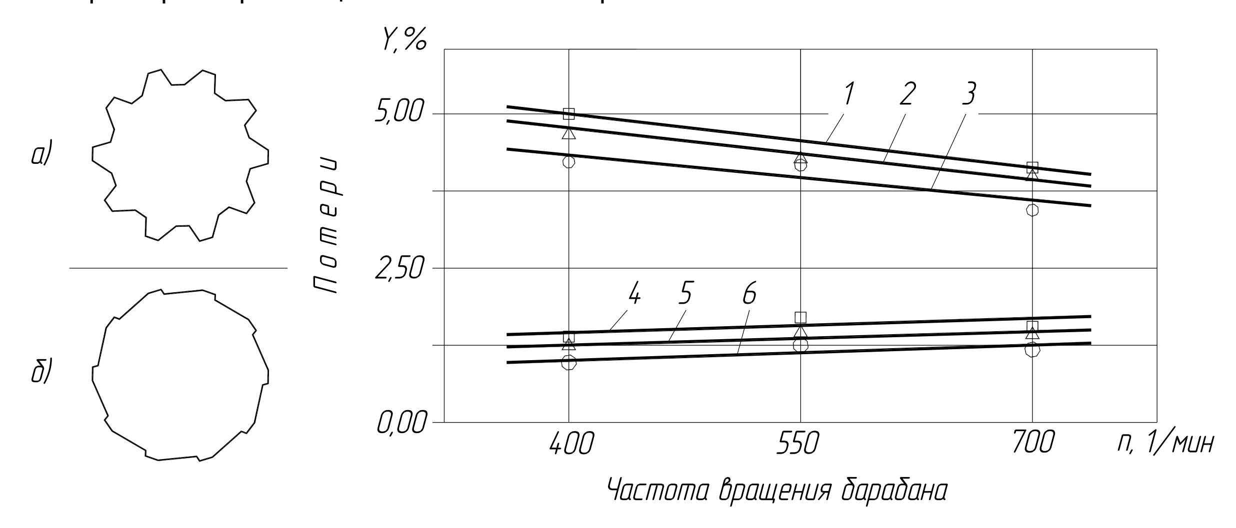


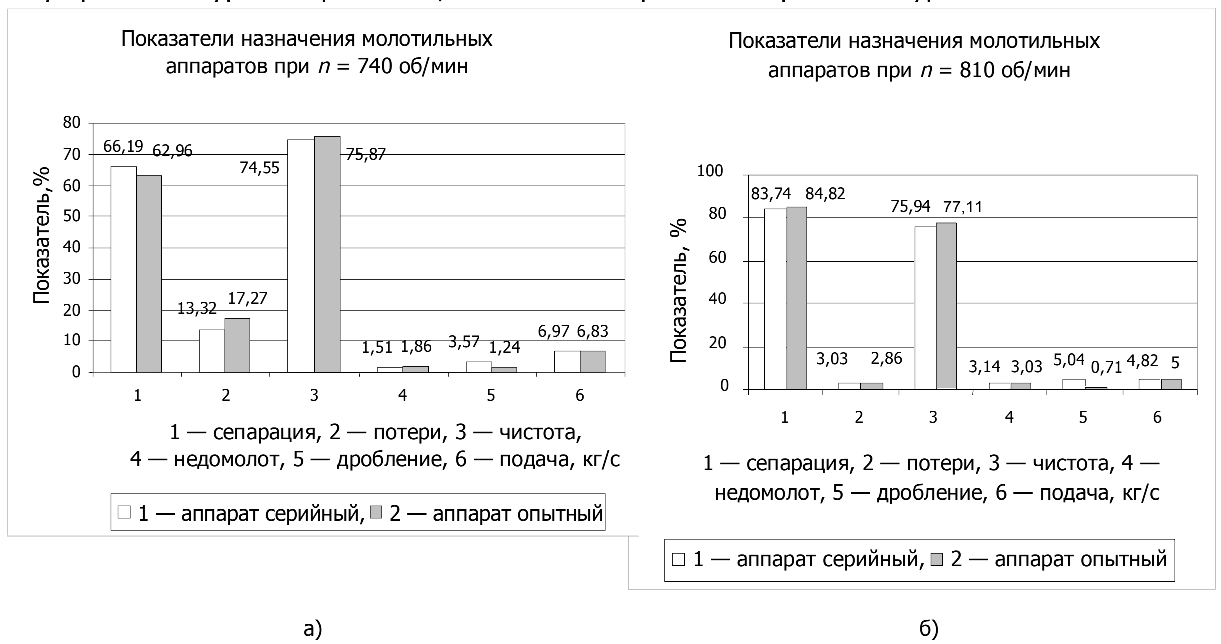
Рис. 3. Изменение потерь за молотильными аппаратами с барабанами открытого (а) и закрытого (б) исполнения при зазорах: 1, 4 — 32×8 мм; 2, 5 — 28×7 мм; 3, 6 — 24×6 мм

Агротехническая оценка. Работа опытного молотильного аппарата с рациональными отражающими межбичевыми поверхностями получила агротехническую оценку на стенде, воспроизводящем схему комбайна «Дон-1500» в лабораторных условиях, на полигоне ДГТУ для испытаний сельскохозяйственной техники.

На начальном этапе исследований установлено влияние скорости вращения молотильного барабана на агротехнические показатели. Опыты проведены при обмолоте пшеницы сорта «Безостая 1» с влажностью сноповой массы 12 %, при скорости вращения барабана 740 об/мин, зазорах 22/5 мм и 22/5/5 мм — у серийного и опытного агрегатов соответственно (при подаче 5 кг/(с·м^2)).

В результате опытов при рабочей скорости бичей 30 м/с (n = 740 об/мин) установлено, что все агропоказатели у молотильного аппарата интенсивного действия (МАИД) и молотильного аппарата серийного исполнения (МАСИ) в целом одинаковы, за исключением степени дробления зерна (рис. 4, *а*, *б*). Дробление у МАИД (1,24 %) почти в 3 раза меньше, чем у МАСИ (3,57 %). Это обстоятельство указывает на возможность интенсификации скоростного режима.

Результаты сравнительных испытаний МАИД с барабаном закрытого исполнения и МАСИ при повышенной до 810 об/мин (34,5 м/с) частоте вращения представлены на рис. 4, *б*. Полученные данные более наглядно отражают эффект снижения дробления зерна за счёт рационализации формы межбичевой отражающей поверхности. Приведённые результаты испытаний показывают, что работу молотильного аппарата интенсивного действия можно интенсифицировать путём увеличения скорости вращения молотильного барабана. При этом можно либо увеличить подачу при том же уровне дробления, либо снизить дробление при том же уровне подачи.



а) б)

Рис. 4. Эффективность молотильных аппаратов: а — при рабочей скорости вращения; б — повышенной скорости вращения барабанов

Молотильный аппарат с барабаном (рис. 5) закрытого исполнения и декой с малым сопротивлением рабочей поверхности показал свою работоспособность в течение трёхлетней эксплуатации комбайна СК-5 «Нива».

В результате выполненных исследований установлено направление дальнейшего совершенствования экспериментального молотильно-сепарирующего устройства на базе использования новых технологических принципов обмолота, альтернативных традиционному подходу.

В развитие этого направления в уборочный сезон 2011 года в хозяйстве Красный Кут Октябрьского района Ростовской области проводились испытания зерноуборочного комбайна «Дон-1500Б» с экспериментальным молотильным аппаратом, разработанным в Донском государственном техническом университете при поддержке ООО «Агротрейд» (изготовление) и ООО «Бизон» (испытания).

Молотильный аппарат включал подбарабанье с выпуклой входной рабочей прутково-планчатой поверхностью и планками _/-образного профиля без прутков, а также молотильный барабан с гладкими бичами и развитыми лобовыми поверхностями.

Испытания проводились на уборке пшеницы кондиционной влажности при прямом комбайнировании. Средняя урожайность составила 35 ц/га. Частота вращения молотильного бараба-

на — 900 об/мин (37,5 м/с). Произведённая динамическая балансировка (О. А. Полушкин, ДГТУ) обеспечила нормальный и менее шумный режим работы барабана (в отсутствие заметных вибраций на больших скоростях).

В результате предварительных испытаний установлено, что комбайн с опытным молотильным аппаратом обеспечивает качество уборки в соответствии с агротребованиями при меньших потерях. В процессе уборки забиваний не наблюдалось.

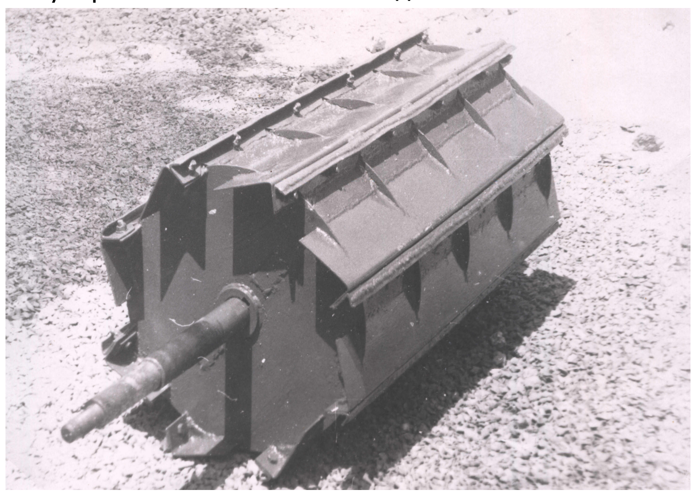


Рис. 5. Молотильный барабан закрытого исполнения

Установлено, что работа комбайна с опытным молотильным аппаратом полностью удовлетворяет потребителя. Представленный молотильный аппарат будет использован в хозяйстве на постоянной основе в следующем уборочном сезоне.

Выводы. На основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований можно сделать следующее заключение.

Геометрические параметры межбичевого пространства обусловлены проникновением стебельной массы и могут быть изменены за счёт снижения сопротивления подбарабанья. Угол отклонения лобовой отражающей поверхности била от радиального направления может быть существенно увеличен. Это приводит к увеличению сепарации (за счёт роста вероятности выделения зерна декой) и к сокращению дробления (за счёт уменьшения нормальной составляющей ударного импульса).

Библиографический список

1. Ветров, Г. Ф. По поводу статьи «Зерноуборочные комбайны: от прошлого к будущему» / Г. Ф. Ветров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2002. — № 5. — С. 45—48.

2. Максимов, Л. М. Прошлое и будущее зерноуборочных комбайнов / Л. М. Максимов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2008. — № 6. — С. 4—5.

3. Клёнин, Н. И. Исследование вымолота и сепарации зерна: дис. … д-ра техн. наук. — Москва, 1977. — 424 с.

4. Антипин, В. Г. О перемещении обмолачиваемой культуры по подбарабанью / В. Г. Антипин, В. М. Коробицын // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. — 1979. — № 8. — С. 7—9.

5. Ширин, В. Ф. Исследование параметров подбарабанья при обмолоте зерновых бильным барабаном: дис. … канд. техн. наук. — Ростов-на-Дону, 1972. — 200 с.

6. Обрезанов, В. Д. Исследование параметров входа и межбичевого пространства бильного молотильного аппарата: дис. … канд. техн. наук. — Ростов-на-Дону, 1974. — 202 с.

7. Бородин, Д. Н. Основы теории взаимодействия ударной поверхности с зерном сельскохозяйственных культур / Д. Н. Бородин, О. П. Чередниченко // Тракторы и сельскохозяйственные машины и орудия. — 2004. — № 2. — С. 44—131.

8. Муратов, М. А. К визуализации процесса ударной сепарации при обмолоте / М. А. Муратов // Совершенствование рабочих органов машин, технологии и организации производства работ в АПК: мат-лы межвуз. науч.-практ. семинара. — Новочеркасск: НГМА, 2005.

9. Кузин, Г. А. Сепарация свободного зерна из молотильного пространства / Г. А. Кузин, А. Ю. Пахомов, М. А. Муратов // Совершенствование рабочих органов машин, технологии и организации производства работ в АПК: мат-лы межвуз. науч.-практ. семинара. — Новочеркасск: НГМА, 2005.

10. К построению модели процесса ударной сепарации при обмолоте / Г. А. Кузин [и др.] // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: мат-лы междунар. науч.-практ. конф. — Ростов-на-Дону, 2009. — С. 59—62.

Материал поступил в редакцию 20.10.2011.

References

1. Vetrov, G. F. Po povodu stat`i «Zernouborochny`e kombajny`: ot proshlogo k budushhemu» / G. F. Vetrov // Traktory` i sel`skoxozyajstvenny`e mashiny`. — 2002. — № 5. — S. 45—48. — In Russian.

2. Maksimov, L. M. Proshloe i budushhee zernouborochny`x kombajnov / L. M. Maksimov // Traktory` i sel`skoxozyajstvenny`e mashiny`. — 2008. — № 6. — S. 4—5. — In Russian.

3. Klyonin, N. I. Issledovanie vy`molota i separacii zerna: dis. … d-ra texn. nauk. — Moskva, 1977. — 424 s. — In Russian.

4. Antipin, V. G. O peremeshhenii obmolachivaemoj kul`tury` po podbaraban`yu / V. G. Antipin, V. M. Korobicy`n // Mexanizaciya i e`lektrifikaciya socialisticheskogo sel`skogo xozyajstva. — 1979. — № 8. — S. 7—9. — In Russian.

5. Shirin, V. F. Issledovanie parametrov podbaraban`ya pri obmolote zernovy`x bil`ny`m barabanom: dis. … kand. texn. nauk. — Rostov-na-Donu, 1972. — 200 s. — In Russian.

6. Obrezanov, V. D. Issledovanie parametrov vxoda i mezhbichevogo prostranstva bil`nogo molotil`nogo apparata: dis. … kand. texn. nauk. — Rostov-na-Donu, 1974. — 202 s. — In Russian.

7. Borodin, D. N. Osnovy` teorii vzaimodejstviya udarnoj poverxnosti s zernom sel`skoxozyajstvenny`x kul`tur / D. N. Borodin, O. P. Cherednichenko // Traktory` i sel`skoxozyajstvenny`e mashiny` i orudiya. — 2004. — № 2. — S. 44—131. — In Russian.

8. Muratov, M. A. K vizualizacii processa udarnoj separacii pri obmolote / M. A. Muratov // Sovershenstvovanie rabochix organov mashin, texnologii i organizacii proizvodstva rabot v APK: mat-ly` mezhvuz. nauch.-prakt. seminara. — Novocherkassk: NGMA, 2005. — In Russian.

9. Kuzin, G. A. Separaciya svobodnogo zerna iz molotil`nogo prostranstva / G. A. Kuzin, A. Yu. Paxomov, M. A. Muratov // Sovershenstvovanie rabochix organov mashin, texnologii i organizacii proizvodstva rabot v APK: mat-ly` mezhvuz. nauch.-prakt. seminara. — Novocherkassk: NGMA, 2005. — In Russian.

10. K postroeniyu modeli processa udarnoj separacii pri obmolote / G. A. Kuzin [i dr.] // Sostoyanie i perspektivy` razvitiya sel`skoxozyajstvennogo mashinostroeniya: mat-ly` mezhdunar. nauch.-prakt. konf. — Rostov-na-Donu, 2009. — S. 59—62. — In Russian.

INTENSIVE THRESHING MECHANISM IMPROVEMENT

G. A. Kuzin, L. M. Groshev, I. A. Khozyayev
(Don State Technical University)

It is shown that the intensive threshing mechanism, containing the drum with smooth rasp bars and the concave with a convex inlet and canting bars with flanges (_/-shaped bars) without rods throughout the remaining extension, may become more effective with fuller allowance for mechanical-and-physical properties of the threshed material. The changeability of the classical space geometry between rasp bars under the resistance reduction of the concave is proved. The laboratory tests and test-use of the intensive threshing mechanism are resulted.
Keywords: *threshing mechanism, drum, concave, smooth rasp bar, front surface, tests, agroengineering factors of applicability.*

УДК 628.517.2:331.45

Теоретическое исследование виброакустической динамики при шарико-стержневом упрочнении деталей типа балок и пластин

А. Н. Лещенко
(Ростовский государственный университет путей сообщения),
А. П. Бабичев
(Донской государственный технический университет)

Рассматривается теоретическое исследование процесса шумообразования при шарико-стержневом упрочнении деталей типа балок и пластин. Получены аналитические зависимости создаваемых спектров шума, что является основой для выбора инженерных решений по доведению акустических характеристик до санитарных норм на этапе проектирования подобных процессов.
Ключевые слова: *виброакустическая динамика, шарико-стержневое упрочнение, пластины.*

Введение. Шарико-стержневое упрочнение как технологический процесс широко применяется, в особенности для деталей сложной формы. При всех преимуществах этого процесса с точки зрения обеспечения качества поверхности он имеет существенный недостаток — высокие уровни шума, намного превышающие предельно допустимые значения.

Основная часть. Способы установки деталей на фрезерных станках позволяют «основание» упрочняемых изделий рассматривать как упруго-диссипативное.

Для заготовок типа балок, стержней и оболочек, у которых размеры поперечного сечения намного меньше длины, звуковое давление определяется зависимостью [1].

$$P = 3{,}8\frac{V_k}{r}\left(Ff_k l\right)^{0,5}\left[\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4\frac{EI}{m_0}+\frac{\delta^*}{m_0}\right]^{0,25}, \tag{1}$$

где m_0 — распределённая масса, кг/м; V_k — виброскорость на соответствующей собственной частоте колебаний, м/с; f_k — собственные частоты колебаний, Гц; l — длина заготовки, м; F — площадь поверхности заготовки, м^2; δ^* — приведённая жёсткость технологической системы, Н/м; E — модуль упругости, Па; I — момент инерции, м^4.

Уровни звукового давления для такого источника определяются следующей зависимостью:

$$L = 20\lg V_k + 10\lg Ff_k l + 5\lg\left[\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4\frac{EI}{m_0}+\frac{\delta^*}{m_0}\right] - 20\lg r + 10\,. \tag{2}$$

Как видно из полученного выражения, расчёты спектров шума сводятся к определению скоростей колебаний упрочняемой заготовки на собственных частотах колебаний.

Силовое воздействие при таком технологическом процессе представляет собой импульсную последовательность и может быть задано следующей зависимостью:

$$f\left(t\right) = A + \sum_{i=1}^{\infty} A_i \sin\left(i\omega t + \varphi\right), \tag{3}$$

где

$$A = \frac{Kt_i}{T};\quad A_i = \sum_{i=1}^{\infty}\frac{2K}{\pi i}\sin\frac{\pi i t_i}{T},$$

K — амплитуда импульса технологического воздействия, Н; t_i — время воздействия упрочнителя на упрочняемую деталь, с; T — период импульсной последовательности, с; ω — частота воздействия упрочнителя на заготовку, рад/с; $\varphi = \operatorname{arctg}\operatorname{ctg}\frac{\pi i t_i}{T}$.

Процесс упрочнения происходит при перемещающемся упрочнителе вдоль поверхности упрочняемого изделия со скоростью продольной подачи. Поскольку размеры зоны контакта малы в сравнении с размерами заготовки, то используем представление силового воздействия как дельта-функции, смещённой по координате. Примем, что ось OZ совпадает с осью заготовки. Тогда дифференциальное уравнение колебания заготовки, лежащей на упругом основании, определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} m_0\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + EI_y\frac{\partial^4 y}{\partial z^4} + \delta_y y &= \sum_{k=1}^{\infty}\sum_{i=1}^{\infty}\cos\frac{2k-1}{l}\pi z\cos\frac{2k-1}{l}\pi St\,\frac{2}{l}\left[A_y + A_{iy}\sin\left(i\omega t+\varphi\right)\right],\\ m_0\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + EI_x\frac{\partial^4 x}{\partial z^4} + \delta_x x &= \sum_{k=1}^{\infty}\sum_{i=1}^{\infty}\cos\frac{2k-1}{l}\pi z\cos\frac{2k-1}{l}\pi St\,\frac{2}{l}\left[A_x + A_{ix}\sin\left(i\omega t+\varphi\right)\right], \end{aligned} \tag{4}$$

где m_0 — распределённая масса заготовки, кг/м; k — коэффициент, учитывающий соответствующую моду колебаний; E — модуль упругости материала заготовки, Па; $I_{y,x}$ — моменты инерции заготовки в направлении осей OX и OY, м^4; $\delta_{y,x}$ — приведённые жёсткости технологической системы в направлении осей OX и OY, Н/м; $A_{x,y}, A_{i\,x,y}$ — амплитуды силового воздействия в направлении осей OX и OY, Н; l — длина изделия, м.

Решая уравнение методом распределения переменных, получим:

$$\begin{aligned} &\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \left[\frac{EI_y}{m_0}\left(\frac{2k-1}{l}\right)^4 + \frac{\delta_y}{m_0}\right]y = \sum\sum\frac{2A_y}{m_i l}\cos\frac{2k-1}{l}\pi St + \\ &+\frac{A_{1y}}{m_0 l}\left\{\sin\left[\left(i\omega - \frac{2k-1}{l}\pi S\right)t+\varphi\right] + \sin\left[\left(i\omega + \frac{2k-1}{l}\pi S\right)t+\varphi\right]\right\} \end{aligned} \tag{5}$$

Аналогичным образом определяется уравнение колебаний заготовки в направлении оси OX с учётом замены $I_{y_i}\delta_{y_i}A_{y_i}A_{iy}$ на $I_{x_i}\delta_{x_i}A_{x_i}A_{ix}$.

Из этого дифференциального уравнения определяется виброскорость заготовки на соответствующей модели колебаний:

$$\begin{aligned} V_y = \frac{\partial y(z,t)}{\partial t} = \Bigg\langle &-\frac{2A_y}{m_0 l}\sum_{k=1}^{\infty}\frac{\frac{2k-1}{l}\pi S\sin\frac{2k-1}{l}\pi St}{\frac{EI_y}{m_0}\left(\frac{2k-1}{l}\pi\right)^4 + \frac{\delta_y}{m_0} - \left(\frac{2k-1}{l}\pi S\right)^2} + \\ &+\frac{A_{1y}}{m_0 l}\sum_{k=1}^{\infty}\sum_{i=1}^{\infty}\left\{\frac{\left(i\omega - \frac{2k-1}{l}\pi S\right)\cos\left[\left(i\omega - \frac{2k-1}{l}\pi S\right)t+\varphi\right]}{\frac{EI_y}{m_0}\left(\frac{2k-1}{l}\pi\right)^4 + \frac{\delta_y}{m_0} - \left(i\omega - \frac{2k-1}{l}\pi S\right)^2} + \right.\\ &\left.+\frac{\left(i\omega - \frac{2k-1}{l}\pi S\right)\cos\left[\left(i\omega - \frac{2k-1}{l}\pi S\right)t+\varphi\right]}{\frac{EI_y}{m_0}\left(\frac{2k-1}{l}\pi\right)^4 + \frac{\delta_y}{m_0} - \left(i\omega - \frac{2k-1}{l}\pi S\right)^2}\right\}\Bigg\rangle\cos\frac{2k-1}{l}\pi z \end{aligned} \tag{6}$$

Аналогичным выражением определяется виброскорость в направлении оси OX. На основе этих выражений определяется среднеквадратическое значение $V = \sqrt{V_y^2 + V_x^2}$, находится макси-

мальное значение виброскорости за время обработки $\left(0 \le t \le \dfrac{l}{S}\right)$ и подставляется в зависимость звуковой мощности.

Добиться снижения шума в самом источнике уменьшением амплитуды технологической нагрузки или скорости подачи фактически невозможно, т. к. в этом случае понизится производительность технологического процесса. Реально уменьшить интенсивность вибрации и шума можно путём поглощения вибраций в самом упрочняемом изделии или в технологической системе. Для этого воспользуемся представлением модуля упругости и жёсткости технологической системы в комплексной форме [2].

$$\widetilde{E} = E\left(1 + j\eta_1\right); \quad \widetilde{\delta} = \delta\left(1 + j\eta_2\right),$$

где η_1 и η_2 — эффективные коэффициенты потерь колебательной энергии упрочняемого изделия и технологической системы (соответственно).

$$\begin{aligned}
V = \Bigg\langle & -\frac{2A\pi S}{l^2}\sum \frac{(2k-1)\sin\dfrac{2k-1}{l}\pi St}{\left\{\left[EI\left(\dfrac{2k-1}{l}\pi\right)^4 + \delta - m_0\left(\dfrac{2k-1}{l}\pi S\right)^2\right] + \left[EI\eta_1\left(\dfrac{2k-1}{l}\pi\right)^4 + \left(\eta_2\delta\right)^2\right]^2\right\}^{0,5}} \times \\
& \times \operatorname{arctg}\frac{EI\eta_1\left(\dfrac{2k-1}{l}\pi\right)^4 + \left(\eta_2\delta\right)^2}{EI\left(\dfrac{2k-1}{l}\pi\right)^4 + \delta - m_0\left(\dfrac{2k-1}{l}\pi S\right)^2} + \\
& + \frac{2A_1}{l^2}\sum\sum \frac{\left[i\omega l - (2k-1)\pi S\right]\cos\left[\left(i\omega - \dfrac{2k-1}{l}\pi S\right)t + \varphi\right]}{\left\{\left[EI\left(\dfrac{2k-1}{l}\pi\right)^4 + \delta - m_0\left(i\omega\dfrac{2k-1}{l}\pi S\right)^2\right]^2 + \left[EI\eta_1\left(\dfrac{2k-1}{l}\pi\right)^4 + \left(\eta_2\delta\right)^2\right]^2\right\}^{0,5}} \times \qquad (7) \\
& \times \operatorname{arctg}\frac{EI\eta_1\left(\dfrac{2k-1}{l}\pi\right)^4 + \left(\eta_2\delta\right)^2}{EI\left(\dfrac{2k-1}{l}\pi\right)^4 + \delta - m_0\left(i\omega\dfrac{2k-1}{l}\pi S\right)^2} + \\
& + \frac{\left[i\omega l - (2k-1)\pi S\right]\cos\left[\left(i\omega - \dfrac{2k-1}{l}\pi S\right)t + \varphi\right]}{\left\{\left[EI\left(\dfrac{2k-1}{l}\pi\right)^4 + \delta - m_0\left(i\omega\dfrac{2k-1}{l}\pi S\right)^2\right]^2 + \left[EI\eta_1\left(\dfrac{2k-1}{l}\pi\right)^4 + \left(\eta_2\delta\right)^2\right]^2\right\}^{0,5}} \times \\
& \times \operatorname{arctg}\frac{EI\eta_1\left(\dfrac{2k-1}{l}\pi\right)^4 + \left(\eta_2\delta_2\right)^2}{EI\left(\dfrac{2k-1}{l}\pi\right)^4 + \delta - m_0\left(i\omega + \dfrac{2k-1}{l}\pi S\right)^2}\Bigg\rangle \cos\frac{2k-1}{l}\pi z.
\end{aligned}$$

Собственные частоты колебаний также зависят от коэффициентов потерь колебательной энергии упрочняемого изделия и технологической системы. Для рассматриваемых в работе способов закрепления частоты колебаний определяются известной зависимостью [3]

$$f_k = \frac{1}{2\pi}\left[\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4 \frac{\tilde{E}I}{m_0} + \frac{\tilde{\delta}}{m_0}\right]^{0,5}, \quad (8)$$

которая после аналогичных преобразований примет вид

$$f_k = \sqrt{\left[\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4 \frac{EI}{m_0} + \frac{\delta}{m_0}\right]^2 + \left[\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4 \frac{EI}{m_0}\eta_1 + \frac{\delta}{m_0}\eta_2\right]^2} \cdot (-1)^k \left(\cos\varphi + i\sin\varphi\right), \quad (9)$$

где

$$\varphi = \frac{\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4 \frac{EI}{m_0} + \frac{\delta}{m_0}}{\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4 \frac{EI}{m_0}\eta_1 + \frac{\delta}{m_0}\eta_2}.$$

Для деталей типа пластин воспользуемся зависимостями излучаемой звуковой мощности при возбуждении точечной поперечной силой. Возможность использования данной модели для технических расчётов объясняется тем, что площадь зоны контакта намного меньше площади поверхности упрочняемого изделия.

В этом случае излучаемая звуковая мощность определяется следующими зависимостями:
- для частот собственных колебаний

$$f < f_{кр}$$

$$N = \frac{\rho_0 C_0 k_0^2 F_0^2}{4\pi\left(\omega m_0\right)^2} \quad (10)$$

- для частот собственных колебаний

$$f > f_{кр}$$

$$N_{изл} = \frac{F_0^2}{16\sqrt{M_0 B}} \cdot \frac{\eta_{изл}}{\eta_{изл} + \eta} \quad (11)$$

где ρ_0 и l_0 — плотность и скорость звука (м/с) в воздухе; k_0 — волновое число, $м^{-1}$; $\omega = 2\pi f$ — круговые собственные частоты колебаний упрочняющей пластины, рад/с; M_0 — поверхностная масса, кг/м^2; B — цилиндрическая жёсткость, м^4/с^2; $\eta_{изл}$ — коэффициент излучения; η — эффективный коэффициент потерь колебательной энергии пластины;

$$\eta_{изл} = \frac{\rho_0 c_0}{\omega m_0 \sqrt{1 - \left(\frac{f_{кр}}{f}\right)^2}}$$

где $f_{кр}$ — критическая частота;

$$f_{кр} = \frac{\omega^2 \sqrt{3\left(1-\mu^2\right)\rho}}{\pi E h}$$

где μ — коэффициент Пуансона, ρ и E — плотность (кг/м^3) и модуль упругости (Па) материала пластины; h — толщина пластины, м.

На основе этих выражений получены зависимости для определения уровней звуковой мощности в следующем виде:

$$f < f_{кр}$$

$$l_w = 20\lg\frac{F}{\rho h b} + 84 \text{ дБ} \quad (12)$$

$$f > f_{кр}$$

$$I_w = 20\lg\frac{F_0}{h} - 5\lg\frac{\rho Eb}{3\left(1-\mu^2\right)} - 10\lg\left[1 + \frac{67,4}{f\rho Eb}\sqrt{1 - \frac{3\left(1-\mu^2\right)\rho^7}{Eh^2 f^2}14\cdot 10^8}\right]. \qquad (13)$$

Как видно из полученных выражений, уровни излучаемой звуковой мощности не зависят от собственных частот колебаний самой пластины, значения которой меньше критической. Для частот собственных колебаний, значения которых больше критической, уровни излучаемой звуковой мощности существенно зависят от частоты и толщины пластины. В этом случае применимость формулы уровней звуковой мощности для упрочняемых стальных заготовок ограничена следующим соотношением толщины пластин и частот их колебаний $fh > 38$.

Выводы. Полученные зависимости позволяют обоснованно выбрать способы повышения диссипативной функции, определяемой эффективным коэффициентом потерь колебательной энергии, как самой упрочняемой заготовки, так и технологической системы.

Такой подход позволит снизить уровни изучаемого шума самого источника. В этом случае даже и при невыполнении санитарных норм система шумозащиты существенно упрочняется.

Библиографический список

1. Чукарин, А. Н. Теория и методы акустических расчётов и проектирования технологических машин для механической обработки: монография / А. Н. Чукарин. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2005. — 149 с.

2. Борисов, Л. П. Звукоизоляция в машиностроении / Л. П. Борисов, Д. Р. Гужас. — Москва: Машиностроение, 1990. — 253, [1] с.

3. Расчёты на прочность в машиностроении. В 3 т. Т. 1 / С. Д. Пономарёв [и др.]. — Москва: Машгиз, 1956. — 884 с.

4. Справочник по судовой акустике / под ред. И. И. Клюкина, И. И. Боголепова. — Ленинград: Судостроение, 1978. — 503 с.

Материал поступил в редакцию 10.12.2011.

References

1. Chukarin, A. N. Teoriya i metody` akusticheskix raschyotov i proektirovaniya texnologicheskix mashin dlya mexanicheskoj obrabotki: monografiya / A. N. Chukarin. — Rostov-na-Donu: Izd. centr DGTU, 2005. — 149 s. — In Russian.

2. Borisov, L. P. Zvukoizolyaciya v mashinostroenii / L. P. Borisov, D. R. Guzhas. — Moskva: Mashinostroenie, 1990. — 253, [1] s. — In Russian.

3. Raschyoty` na prochnost` v mashinostroenii. V 3 t. T. 1 / S. D. Ponomaryov [i dr.]. — Moskva: Mashgiz, 1956. — 884 s. — In Russian.

4. Spravochnik po sudovoj akustike / pod red. I. I. Klyukina, I. I. Bogolepova. — Leningrad: Sudostroenie, 1978. — 503 s. — In Russian.

THEORETICAL RESEARCH ON VIBROACOUSTIC DYNAMICS UNDER BALL-AND-ROD HARDENING OF BAR- AND PLANE-TYPE PARTS

A. N. Leshchenko
(Rostov State Transport University),
A. P. Babichev
(Don State Technical University)

The theoretical research on the noise emission process under the ball-and-rod hardening of the bar- and plane-type parts is considered. The analytic dependences of the produced noise spectra are obtained. That is the basis for making the engineering decisions on the bringing the acoustic characteristics to the sanitary norms at the design stage of such processes.
Keywords: *vibroacoustic dynamics, ball-and-rod hardening, planes.*

УДК 62-83(075.8):621.313+621.226

Компьютерное моделирование асинхронного электропривода с гидромуфтой

А. И. Озерский, М. Ю. Пустоветов, В. С. Минаков
(Донской государственный технический университет)

Рассмотрены вопросы компьютерного моделирования асинхронного электропривода с гидромуфтой с постоянным и переменным заполнением жидкостью.

Ключевые слова: *модель асинхронного электродвигателя, модель гидромуфты, пуск, перегрузка, остановка.*

Введение. Гидромуфты (ГМ) нашли широкое применение в силовых приводах ленточных, цепных скребковых и пластинчатых конвейеров, элеваторов, осевых вентиляторов и дымососов, в приводах питательных насосов и газовых турбин, дробилок и мельниц различных типов, роторных экскаваторов, дорожных катков, бетоносмесителей, барабанных сушилок и центрифуг, в составе гидромеханических коробок передач тепловозов, автомобилей, тракторов. Использование ГМ в составе силового привода даёт следующие преимущества:

- улучшение статических и пусковых характеристик машины;
- защита привода от динамических перегрузок при резкой остановке, например заклинивании рабочего органа машины;
- ограничение крутящего момента заданной величиной в режимах пуска и торможения, что предохраняет двигатель, привод и рабочий орган машины от недопустимых перегрузок;
- демпфирование и снижение амплитуды крутильных колебаний в приводах, возникающих при работе машины.

Наиболее распространён электропривод с асинхронными двигателями (АД) [1]. В ряде случаев ГМ является здесь связующим звеном между силовым валом АД и приводимого механизма. При этом ГМ обеспечивает плавность разгона механизма передачи энергии и облегчение условий прямого пуска АД на холостом ходу и с нагрузкой.

Эффективным способом анализа динамических процессов, поиска путей совершенствования конструкций является компьютерное моделирование. В связи с постоянным совершенствованием аппаратной части ЭВМ и программного обеспечения не перестаёт быть актуальной задача создания современных инструментов имитационного моделирования в электро- и гидроприводе, в том числе с использованием технологий визуального программирования.

Математическая модель трёхфазного АД. В основу компьютерной модели АД с ГМ положена математическая модель трёхфазной электрической машины в заторможенной системе координат α, β, γ [2], оси которой совмещены с осями *A*, *B*, *C* фаз статора. Модель дополнена с целью учёта

потерь энергии в стали активными сопротивлениями r_μ контура намагничивания, включёнными в каждой фазе параллельно главным индуктивностям L_μ [3]. Уравнения, описывающие модель электромагнитных процессов в АД, представлены ниже.

$$\begin{cases} u_{s\alpha} = r_{s\alpha} i_{s\alpha} + \dfrac{d\Psi_{s\alpha}}{dt}; \qquad i_{\mu\alpha_active} = \dfrac{u_{0\alpha}}{r_{\mu\alpha}}; \\ u_{s\beta} = r_{s\beta} i_{s\beta} + \dfrac{d\Psi_{s\beta}}{dt}; \qquad i_{\mu\beta_active} = \dfrac{u_{0\beta}}{r_{\mu\beta}}; \\ u_{s\gamma} = r_{s\gamma} i_{s\gamma} + \dfrac{d\Psi_{s\gamma}}{dt}; \qquad i_{\mu\gamma_active} = \dfrac{u_{0\gamma}}{r_{\mu\gamma}}; \\ -u_{r\alpha} = r_{r\alpha} i_{r\alpha} + \dfrac{d\Psi_{r\alpha}}{dt} + \dfrac{\left(\Psi_{r\beta} - \Psi_{r\gamma}\right)\omega_r}{\sqrt{3}}; \\ -u_{r\beta} = r_{r\beta} i_{r\beta} + \dfrac{d\Psi_{r\beta}}{dt} + \dfrac{\left(\Psi_{r\gamma} - \Psi_{r\alpha}\right)\omega_r}{\sqrt{3}}; \\ -u_{r\gamma} = r_{r\gamma} i_{r\gamma} + \dfrac{d\Psi_{r\gamma}}{dt} + \dfrac{\left(\Psi_{r\alpha} - \Psi_{r\beta}\right)\omega_r}{\sqrt{3}}. \end{cases} \qquad (1)$$

Здесь приняты обычные для математической модели обобщённой электрической машины допущения [2]: каждая из трёх обмоток статора создаёт в гладком зазоре синусоидально распределённую МДС. Коэффициент насыщения магнитной цепи принят неизменным. В выражениях (1) и далее приняты следующие обозначения: u — напряжение, i — ток, t — время, r — активное сопротивление, Ψ — потокосцепление, ω — частота вращения. Нижние индексы α, β, γ обозначают принадлежность к соответствующей фазе. Нижний индекс s обозначает принадлежность к статору, индекс r — принадлежность к ротору, а индекс μ — принадлежность к ветви намагничивания Т-образной схемы замещения АД. i_{μ_active} — активная составляющая тока намагничивания. Детализация составляющих системы (1) приведена в выражениях (2) — (5).

Напряжения u_0 на зажимах ветвей намагничивания фаз:

$$\begin{aligned} u_{0\alpha} &= \frac{2}{3} L_\mu \left[\left(\frac{di_{s\alpha}}{dt} + \frac{di_{r\alpha}}{dt} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{di_{s\beta}}{dt} + \frac{di_{r\beta}}{dt} + \frac{di_{s\gamma}}{dt} + \frac{di_{r\gamma}}{dt} \right) \right]; \\ u_{0\beta} &= \frac{2}{3} L_\mu \left[\left(\frac{di_{s\beta}}{dt} + \frac{di_{r\beta}}{dt} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{di_{s\alpha}}{dt} + \frac{di_{r\alpha}}{dt} + \frac{di_{s\gamma}}{dt} + \frac{di_{r\gamma}}{dt} \right) \right]; \\ u_{0\gamma} &= \frac{2}{3} L_\mu \left[\left(\frac{di_{s\gamma}}{dt} + \frac{di_{r\gamma}}{dt} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{di_{s\alpha}}{dt} + \frac{di_{r\alpha}}{dt} + \frac{di_{s\beta}}{dt} + \frac{di_{r\beta}}{dt} \right) \right]. \end{aligned} \qquad (2)$$

Потокосцепления [1, 2]:

$$\Psi_{s\alpha} = L_{s\alpha} i_{s\alpha} + \frac{2}{3} L_\mu \left[i_{r\alpha} - \frac{1}{2}\left(i_{s\beta} + i_{r\beta} + i_{s\gamma} + i_{r\gamma}\right)\right];$$
$$\Psi_{s\beta} = L_{s\beta} i_{s\beta} + \frac{2}{3} L_\mu \left[i_{r\beta} - \frac{1}{2}\left(i_{s\alpha} + i_{r\alpha} + i_{s\gamma} + i_{r\gamma}\right)\right]; \quad (3)$$
$$\Psi_{s\gamma} = L_{s\gamma} i_{s\gamma} + \frac{2}{3} L_\mu \left[i_{r\gamma} - \frac{1}{2}\left(i_{s\alpha} + i_{r\alpha} + i_{s\beta} + i_{r\beta}\right)\right];$$

$$\Psi_{r\alpha} = L_{r\alpha} i_{r\alpha} + \frac{2}{3} L_\mu \left[i_{s\alpha} - \frac{1}{2}\left(i_{s\beta} + i_{r\beta} + i_{s\gamma} + i_{r\gamma}\right)\right];$$
$$\Psi_{r\beta} = L_{r\beta} i_{r\beta} + \frac{2}{3} L_\mu \left[i_{s\beta} - \frac{1}{2}\left(i_{s\alpha} + i_{r\alpha} + i_{s\gamma} + i_{r\gamma}\right)\right]; \quad (4)$$
$$\Psi_{r\gamma} = L_{r\gamma} i_{r\gamma} + \frac{2}{3} L_\mu \left[i_{s\gamma} - \frac{1}{2}\left(i_{s\alpha} + i_{r\alpha} + i_{s\beta} + i_{r\beta}\right)\right].$$

Токи намагничивания фаз:

$$i_{\mu\alpha} = i_{s\alpha} + i_{r\alpha} = \frac{2}{3}\left[\left(i_{s\alpha} - \frac{1}{2}\left(i_{s\beta} + i_{s\gamma}\right)\right) + \left(i_{r\alpha} - \frac{1}{2}\left(i_{r\beta} + i_{r\gamma}\right)\right)\right] = i_{\mu\alpha_active} + i_{\mu\alpha_reactive};$$
$$i_{\mu\beta} = i_{s\beta} + i_{r\beta} = \frac{2}{3}\left[\left(i_{s\beta} - \frac{1}{2}\left(i_{s\alpha} + i_{s\gamma}\right)\right) + \left(i_{r\beta} - \frac{1}{2}\left(i_{r\alpha} + i_{r\gamma}\right)\right)\right] = i_{\mu\beta_active} + i_{\mu\beta_reactive}; \quad (5)$$
$$i_{\mu\gamma} = i_{s\gamma} + i_{r\gamma} = \frac{2}{3}\left[\left(i_{s\gamma} - \frac{1}{2}\left(i_{s\alpha} + i_{s\beta}\right)\right) + \left(i_{r\gamma} - \frac{1}{2}\left(i_{r\alpha} + i_{r\beta}\right)\right)\right] = i_{\mu\gamma_active} + i_{\mu\gamma_reactive}.$$

В выражениях (5) $i_{\mu_reactive}$ — реактивная (индуктивная) составляющая тока намагничивания фазы АД. Для АД типа АЖВ250М23УХЛ2 мощностью 110 кВт активная составляющая тока намагничивания $i_{\mu_reactive}$ составляет приблизительно 5 % от тока намагничивания i_μ. Это справедливо как в ходе переходного процесса пуска, так и при установившемся режиме.

Уравнение электромагнитного момента АД имеет вид:

$$M_{ЭМ} = p\frac{\sqrt{3}}{2}\left(\frac{2}{3}L_\mu\right)\left[\left(i_{s\alpha}i_{r\gamma} + i_{s\beta}i_{r\alpha} + i_{s\gamma}i_{r\beta}\right) - \left(i_{s\alpha}i_{r\beta} + i_{s\beta}i_{r\gamma} + i_{s\gamma}i_{r\alpha}\right)\right]. \quad (6)$$

Кинематическая схема механической части привода принята следующая: вал АД — повышающий редуктор — вал насоса — ГМ — вал турбины, к которому присоединена механическая нагрузка. Уравнение движения для вала АД имеет вид:

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{p}{J}\left(M_{ЭМ} - \frac{M_{насоса\ ГМ}}{j_p} - \frac{p_{мех\,0}}{\omega_{r0}}\left(\frac{\omega_r}{\omega_{r0}}\right)^{1,7} - k_{сопр.\,Н}\,\omega_r\right). \quad (7)$$

Здесь J — момент инерции вращающихся частей ротора, редуктора и насоса с рабочей жидкостью; p — число пар полюсов АД; передаточное отношение j_p редуктора — это отношение частоты вращения ротора АД к частоте вращения насоса ГМ

$$j_p = \omega_r / \omega_{насоса}; \quad (8)$$

$M_{насоса\ ГМ} / j_p$ — вращающий момент на валу привода насоса ГМ, приведённый к валу ротора АД; $\frac{p_{мех\,0}}{\omega_{r0}} \left(\frac{\omega_r}{\omega_{r0}} \right)^{1,7}$ — момент механических потерь АД при способе вентиляции электрической машины «самовентиляция» [4]; $p_{мех\,0}$ — механические потери АД в режиме идеального холостого хода; ω_{r0} — частота вращения АД в режиме идеального холостого хода; $k_{сопр.\ Н}\omega_r$ — момент сил сопротивления вращению валов насоса ГМ и редуктора, приведённый к валу ротора АД.

Зачастую необходимо рассчитать энергетические показатели электрической машины в переходном процессе. Для АД при отсутствии электрического питания обмоток ротора мгновенное значение активной потребляемой мощности P_1 вычисляется с помощью равенства

$$P_1 = u_{s\alpha} i_{s\alpha} + u_{s\beta} i_{s\beta} + u_{s\gamma} i_{s\gamma} . \tag{9}$$

Мгновенное значение реактивной потребляемой мощности Q_1 равно:

$$Q_1 = -\left[u_{s\alpha} \left(i_{s\beta} - i_{s\gamma} \right) + u_{s\beta} \left(i_{s\gamma} - i_{s\alpha} \right) + u_{s\gamma} \left(i_{s\alpha} - i_{s\beta} \right) \right] / \sqrt{3} . \tag{10}$$

Мгновенное значение полезной мощности P_2 на валу АД:

$$P_2 = \omega_r M_{насоса\ ГМ} / j_p . \tag{11}$$

Форма уравнений математической модели АД, представленная в трёхфазных координатах α, β, γ, удобна при анализе и сравнении расчётных и реальных значений токов и напряжений фаз АД. Эта форма без дополнительных преобразований и уравнений пригодна для анализа особенностей несимметричных по характеристикам питания или параметрам режимов работы АД.

Компьютерная модель АД. При создании компьютерной модели АД средствами САПР, предназначенной в основном для проектирования и имитационного схемотехнического моделирования электронных и электротехнических устройств, была поставлена задача обеспечения встраиваемости модели АД в единую комплексную модель электрогидродинамической передачи энергии. Получена компьютерная модель, пригодная для описания АД как с короткозамкнутым, так и с фазным ротором. Обмотки фаз могут соединяться по схемам «треугольник», «звезда», иметь любую другую схему соединений между собой или с источником питания. Это достигнуто путём сочетания при построении модели АД двух подходов: схемотехнического для электрической части и метода структурных схем [5] для магнитной и механической частей.

В качестве датчиков и для ввода сигналов в составе модели АД использованы элементы типа ИНУН, ИНУТ, ИТУН. В этих сокращениях: И — источник, У — управляемый, Н — напряжение, Т — ток. Например, ИНУТ — источник напряжения, управляемый током. Графическое изображение компьютерной модели фазы *A* обмоток статора и ротора АД, составленной по (1) — (5), показано на рис. 1, где $L_{\sigma s\alpha}$ — индуктивность рассеяния фазы обмотки статора, $L_{\sigma r\alpha}$ — индуктивность рассеяния фазы обмотки ротора. Традиционно параметры ротора приведены к обмотке статора.

ИНУТ1 выполняет роль датчика тока фазы статора $i_{s\alpha}$, аналогично ИНУТ2 — роль датчика тока фазы статора $i_{r\alpha}$. ИТУН1 служит для ввода в схему тока $i_{r\alpha}$ — приведённого тока фазы ротора. ИНУН1 вводит в цепь намагничивания фазы напряжение $u_{0\alpha}$. Аналогичную функцию выполняет ИНУН3 — вводит в цепь обмотки ротора разность ЭДС ветви намагничивания и ЭДС вращения, то есть величину падения напряжения. ИНУН2 является дифференциальным датчиком разности потенциалов на индуктивности $L_{\sigma s\alpha}$. Последующая обработка этого сигнала напряжения путём деления на значение $L_{\sigma s\alpha}$ даёт производную $\frac{di_{s\alpha}}{dt}$ тока статора фазы. С помощью ИНУН4 выполняется аналогичная операция с целью выделения сигнала $\frac{di_{r\alpha}}{dt}$.

В компьютерной модели, изображённой на рис. 1, использованы сигналы ЭДС ветви намагничивания (12) и ЭДС вращения (13) фаз ротора.

$$\begin{aligned} e_{0\alpha} &= -u_{0\alpha}; \\ e_{0\beta} &= -u_{0\beta}; \\ e_{0\gamma} &= -u_{0\gamma}. \end{aligned} \tag{12}$$

$$\begin{aligned} e_{rot\alpha} &= \left(\Psi_{r\beta} - \Psi_{r\gamma}\right)\omega_r \Big/ \sqrt{3}; \\ e_{rot\beta} &= \left(\Psi_{r\gamma} - \Psi_{r\alpha}\right)\omega_r \Big/ \sqrt{3}; \\ e_{rot\gamma} &= \left(\Psi_{r\alpha} - \Psi_{r\beta}\right)\omega_r \Big/ \sqrt{3}. \end{aligned} \tag{13}$$

Активные сопротивления r_{serv}, указанные на рис. 1, имеют значения порядка 10 МОм. Они введены в служебных целях. Практически не влияя на численные результаты расчёта, указанные сопротивления стабилизируют ход решения (моделирования) за счёт сохранения цепи тока (физический смысл — путь протекания токов утечки). Это особенно важно при дискретном изменении сопротивления цепей питания АД, например при электрическом питании от полупроводникового преобразователя или при обрыве фазы.

Адекватность динамики разработанной здесь компьютерной модели АД подтверждена хорошим совпадением результатов динамического моделирования на эталонных моделях АД (с короткозамкнутым ротором) с номинальными мощностями 1,1 кВт и 4 кВт [1, 6]. Адекватность же статических режимов работы этой модели подтверждена многократными вычислительными экспериментами для известных АД с короткозамкнутым ротором типов НВА-55 (номинальная мощность 55 кВт) и АЖВ250М23УХЛ2 (номинальная мощность 110 кВт) [7, 8]. Результаты этих вычислений удовлетворительно совпадают с данными расчётных записок и протоколов испытаний ОАО «ВЭлНИИ» (г. Новочеркасск) и ОАО «НИПТИЭМ» (г. Владимир). В настоящей работе описаны результаты компьютерного моделирования АД АЖВ250М23УХЛ2 с параметрами и характеристиками, приведёнными в табл. 1.

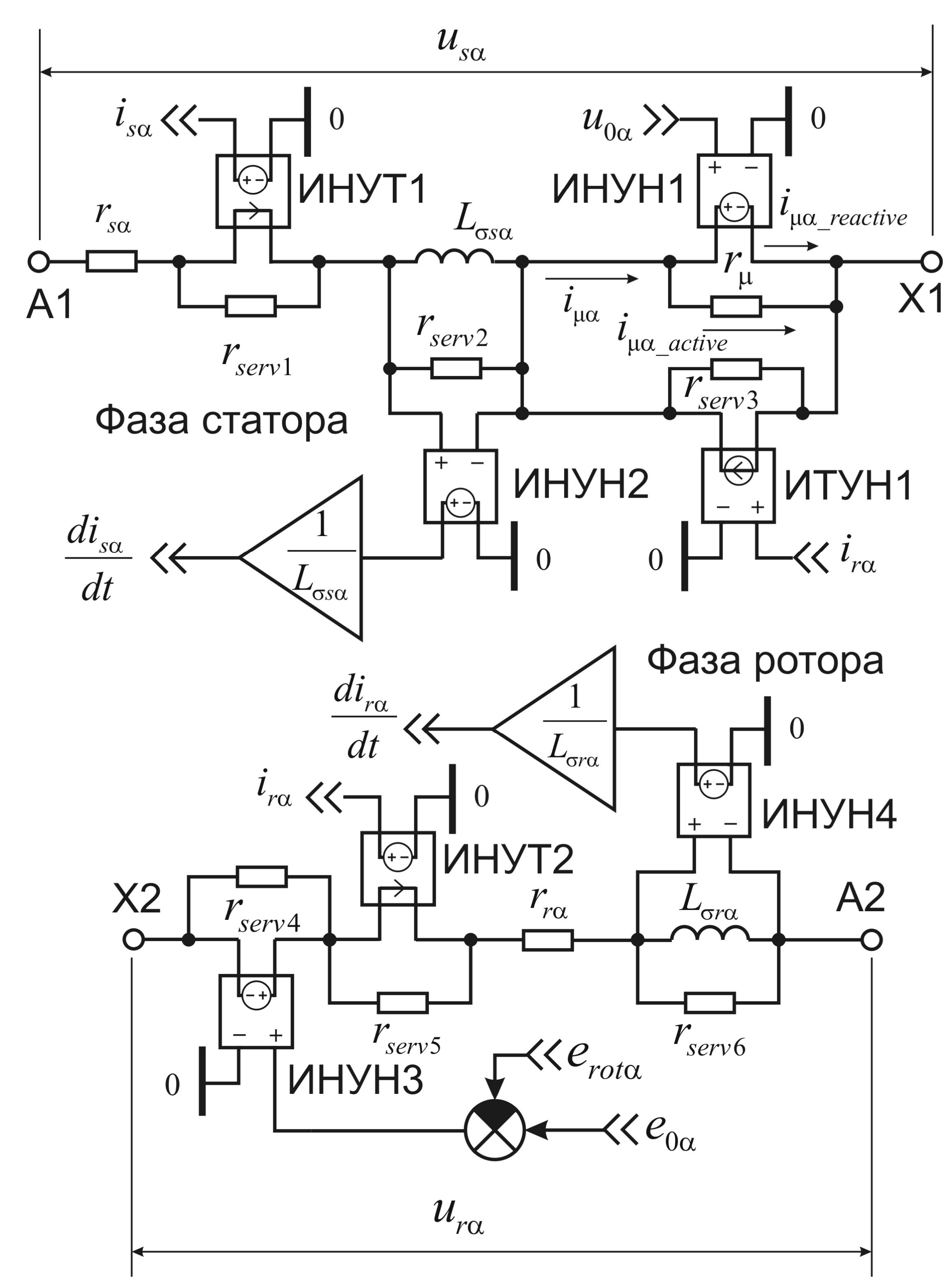


Рис. 1. Графическое изображение компьютерной модели фазы *A* обмоток статора и ротора АД

Математическая и компьютерная модели ГМ. За основу модели ГМ взята физическая и математическая модель ГМ постоянного заполнения, описанная в [9]. Вращающий момент на валу привода насоса ГМ

$$M_{насоса\ ГМ} = \rho\left(\omega_{насоса} r_2^2 - \omega_{турбины} r_1^2\right) Q, \qquad (14)$$

где Q — расход рабочей жидкости в ГМ, м^3/с, равный

$$Q = \frac{900 g b_2 D^4 \omega_{насоса} \lambda(\varepsilon)}{\pi^2 r_1^2 \left[1 - \frac{r_1^2}{r_2^2}(1-\varepsilon)\right]}; \qquad (15)$$

ε — относительное скольжение рабочих колёс ГМ, равное

$$\varepsilon = 1 - \left(\omega_{турбины} / \omega_{насоса}\right); \qquad (16)$$

$\lambda = f(\varepsilon)$ — опытная статическая характеристика ГМ, с^2/м.

Таблица 1

Параметры и характеристики АД АЖВ250М2ЗУХЛ2, использованные при моделировании

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение параметра в системе координат α, β, γ	Традиционное обозначение параметра в Т-образной схеме замещения АД	Числовое значение	Единица измерения
1	Количество пар полюсов	p	p	1	–
2	Активное сопротивление фазы обмотки статора	r_s	r_1	0,0287	Ом
3	Индуктивность рассеяния фазы обмотки статора	$L_{\sigma s}$	$L_{\sigma 1}$	0,000546	Гн
4	Главная индуктивность фазы	L_μ	L_μ	0,021743	Гн
5	Активное сопротивление цепи намагничивания фазы	r_μ	r_μ	137,051	Ом
6	Активное сопротивление фазы обмотки ротора, приведённое к статору	r_r	r_2'	0,013	Ом
7	Индуктивность рассеяния фазы обмотки ротора, приведённая к статору	$L_{\sigma r}$	L_2'	0,000355	Гн
8	Момент инерции ротора	J_r	J_r	0,484	кг·м^2
9	Номинальное линейное напряжение статора	–	$U_{1Лном}$	380	В
10	Частота вращения в режиме идеального холостого хода	ω_{r0}	ω_{r0}	314,159	рад/с
11	Механические потери в режиме идеального холостого хода	$p_{мех0}$	$p_{мех0}$	740	Вт

Описание других составляющих, участвующих в выражениях (14) — (18), дано ниже в табл. 2.

Уравнение движения для вала турбины ГМ имеет вид:

$$\frac{d\omega_{турбины}}{dt} = \frac{M_{насоса\ ГМ} - k_{сопр.Т}\omega_{турбины} - M_{нагрузки}}{J_{турбины} + J_{ж.Т} + J_{нагрузки}} \tag{17}$$

В числителе правой части (17): первое слагаемое — вращающий момент на валу привода насоса ГМ (см. (14)); второе слагаемое — момент сил сопротивления вращению валов турбины ГМ и нагрузки; третье слагаемое — вращающий момент на силовом валу механизма внешней нагрузки.

Таблица 2

Значения параметров, использованные при моделировании силового электрогидродинамического привода

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение параметра	Числовое значение	Единица измерения
1	Передаточное отношение редуктора	$j_р$	1/1,2	–
2	Момент инерции колеса насоса	$J_{насоса}$	0,5	$кг \cdot м^2$
3	Момент инерции жидкости насоса	$J_{ж.Н}$	0,033	$кг \cdot м^2$
4	Коэффициент, учитывающий увеличение момента инерции ротора АД за счёт приведённого момента инерции редуктора	δ	1,2	–
5	Момент инерции колеса турбины	$J_{турбины}$	0,5	$кг \cdot м^2$
6	Момент инерции жидкости турбины	$J_{ж.Т}$	0,033	$кг \cdot м^2$
7	Момент инерции нагрузки	$J_{нагрузки}$	2,4	$кг \cdot м^2$
8	Коэффициент пропорциональности между частотой вращения вала АД ω_r и моментом сил сопротивления вращению валов насоса ГМ и редуктора, приведённым к валу ротора АД	$k_{сопр.Н}$	0,0095	–
9	Коэффициент пропорциональности между частотой вращения вала турбины $\omega_{турбины}$ и моментом сил сопротивления вращению валов турбины ГМ и нагрузки	$k_{сопр.Т}$	0,0095	–
10	Ускорение свободного падения	g	9,81	$м/с^2$
11	Плотность рабочей жидкости ГМ	ρ	850	$кг/м^3$
12	Активный диаметр ГМ	D	0,363	м
13	Малый радиус расчётного круга циркуляции (на средней струйке) колёс ГМ	r_1	0,054	м
14	Боьшой радиус расчётного круга циркуляции (на средней струйке) колёс ГМ	r_2	0,154	м
15	Ширина кольца выходного сечения канала ведущего колеса ГМ	b_2	0,054	м

В (7) момент инерции J является суммой составляющих:

$$J = \delta J_r + \left(J_{насоса} + J_{ж.Н}\right) / j_р^2. \tag{18}$$

Для оценки (в первом приближении) временных характеристик быстропротекающих динамических процессов (например, при ударных нагрузках, вызывающих отрицательные угловые ус-

корения порядка 2100 1/с^2) последовательно с функцией $\lambda = f(\varepsilon)$, характеризующей статический коэффициент момента ГМ, установленный опытным путём, включено апериодическое звено $k_1(t)$, учитывающее запаздывание во времени t реакции силовой гидродинамической передачи на скачок нагрузки, в виде:

$$k_1(t) = 1 - e^{-\alpha(t - t_{01})}. \qquad (19)$$

Здесь t_{01} — момент ударного нагружения ведомого вала ГМ, с; α — коэффициент, учитывающий динамику реакции ГМ на нагрузку, 1/с. Нами принято $\alpha^2 = 2100$ 1/с^2 согласно рекомендациям [10].

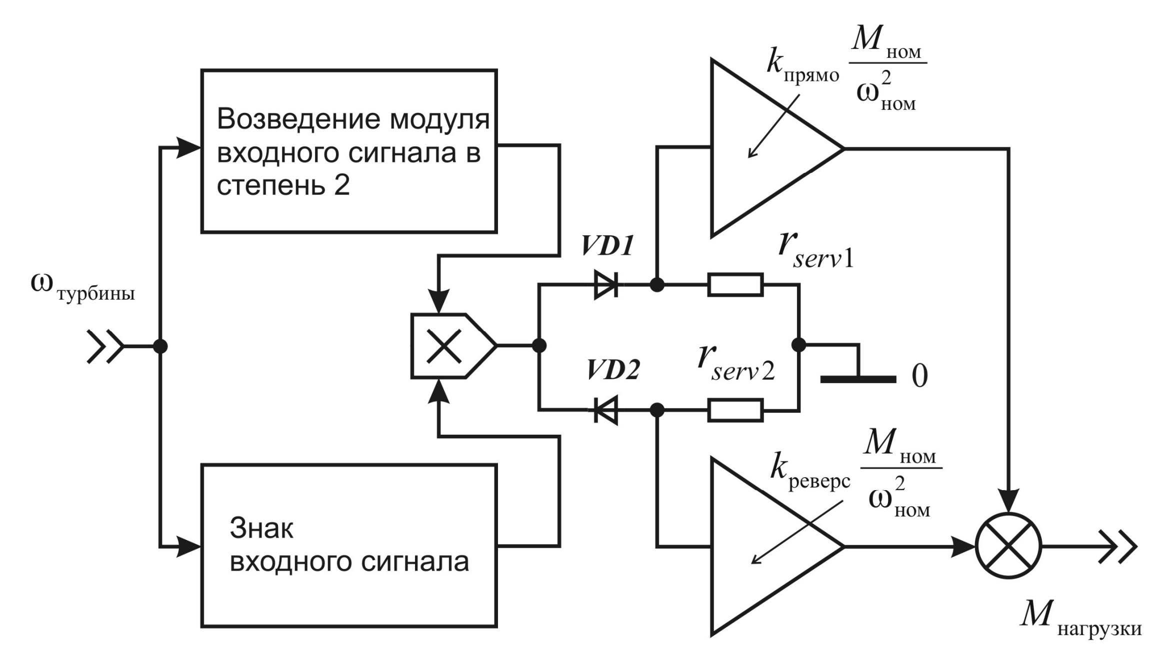


Рис. 2. Графическое изображение компьютерной модели способа формирования реактивного момента вязкого трения

Чтобы придать разработанной здесь модели гидродинамической передачи свойства ГМ со статическим самоопоражниванием (тяговой) [11] с ограничением вращающего момента, передаваемого ГМ, удобно в компьютерной модели использовать нелинейность типа «насыщение».

Для придания свойств ГМ с динамическим самоопоражниванием (предельной) [11], когда опоражнивание или заполнение рабочего объёма ГМ жидкостью начинается при переходе через критическое значение частоты вращения насоса ГМ $\omega_{насосаКР}$, можно воспользоваться переходом с одной характеристики $\lambda = f(\varepsilon)$ на другую в зависимости от степени заполнения ГМ жидкостью. Принимая (для упрощения), что характеристики $\lambda = f(\varepsilon)$ при любом заполнении ГМ подобны по форме, можно домножать мгновенное значение функции $\lambda = f(\varepsilon)$, полученное на основной характеристике (при наибольшем коэффициенте заполнения ГМ жидкостью), на текущее значение коэффициента заполнения. Плавное изменение последнего при переходе через $\omega_{насосаКР}$ получим,

полагая процесс опоражнивания или заполнения жидкостью апериодическим с постоянной времени 0,2—0,3 с. Для этого воспользуемся апериодическим звеном типа $k_2(t)$ в виде:

$$k_2(t) = 1 - e^{-\beta(t - t_{02})}. \quad (20)$$

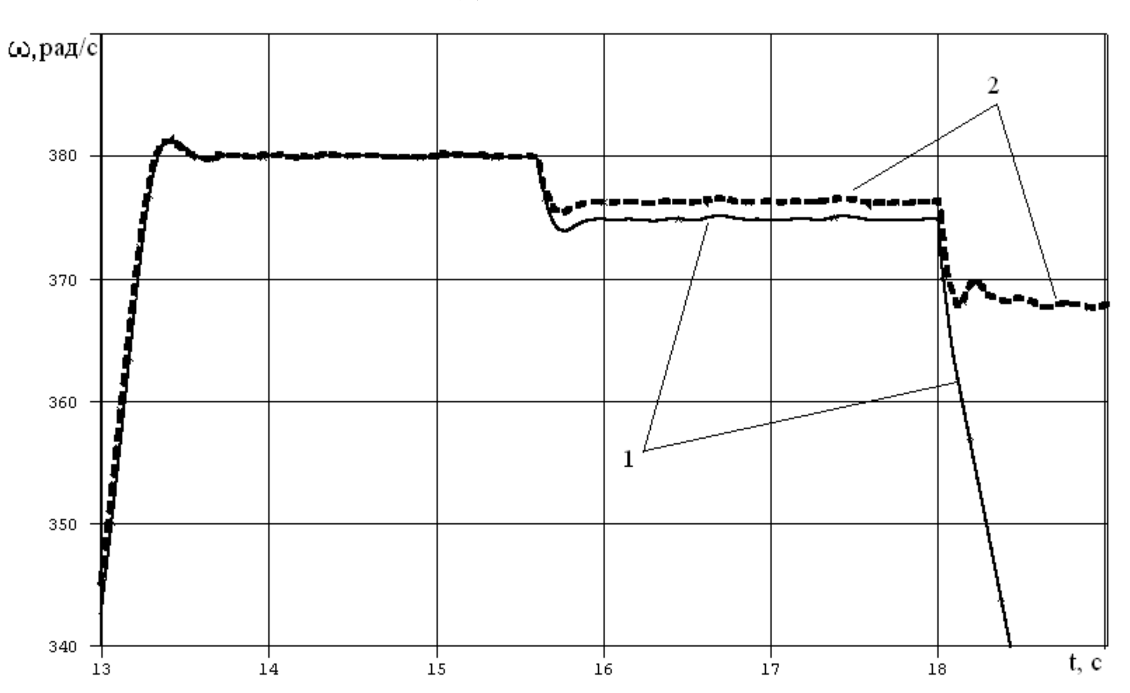


Рис. 3. Результаты компьютерного моделирования динамики привода для ГМ со статическим самоопоражниванием

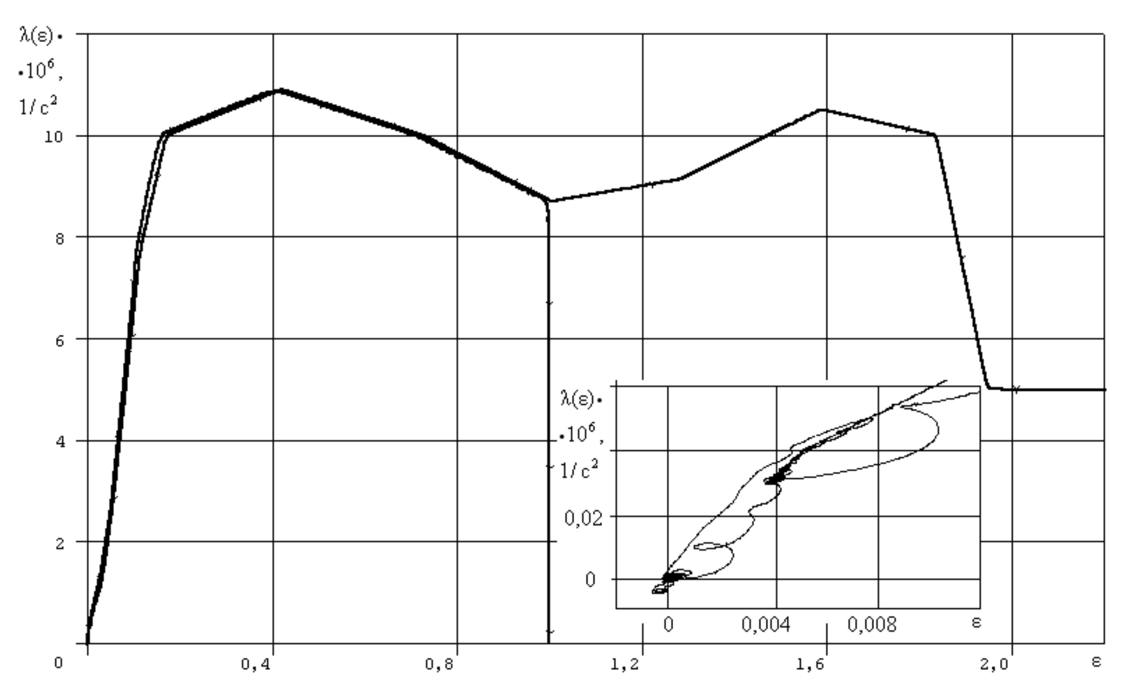


Рис. 4. Динамическая характеристика $\lambda = f(\varepsilon)$, полученная в результате моделирования привода с ГМ со статическим самоопоражниванием при параметрах согласно табл. 1 и 2

Здесь t_{02} — момент достижения значения $\omega_{насосаКР}$ частоты вращения насоса ГМ, с; β — коэффициент, учитывающий динамику опоражнивания или заполнения рабочего объёма ГМ жидкостью, 1/с. Нами принято $1/\beta = 0{,}25$ с.

При моделировании $M_{нагрузки}$ в случае ГМ со статическим самоопоражниванием использовался кусочно-постоянный сигнал, изменяющийся ступенчато (холостой ход, нагрузка, перегрузка). В случае ГМ с динамическим самоопоражниванием $M_{нагрузки}$ формировался как сумма реактивного момента вязкого трения (вентиляторного) и момента постоянной величины, действующего только в начальной стадии пуска, то есть до некоторой малой частоты вращения (момент трогания). На рис. 2 показан способ формирования реактивного момента вязкого трения, использованный в описываемой компьютерной модели.

Результаты компьютерного моделирования. Результаты моделирования динамики силового привода показаны для ГМ со статическим самоопоражниванием на рис. 3. Здесь кривая *1* — частота вращения вала турбины $\omega_{турбины}$, 1/с. Кривая *2* — частота вращения вала насоса ГМ $\omega_{насоса}$, 1/с. Последовательно показаны режимы разгона и работы на холостом ходу, работы под нагрузкой, особенности работы в условиях перегрузки на валу турбины.

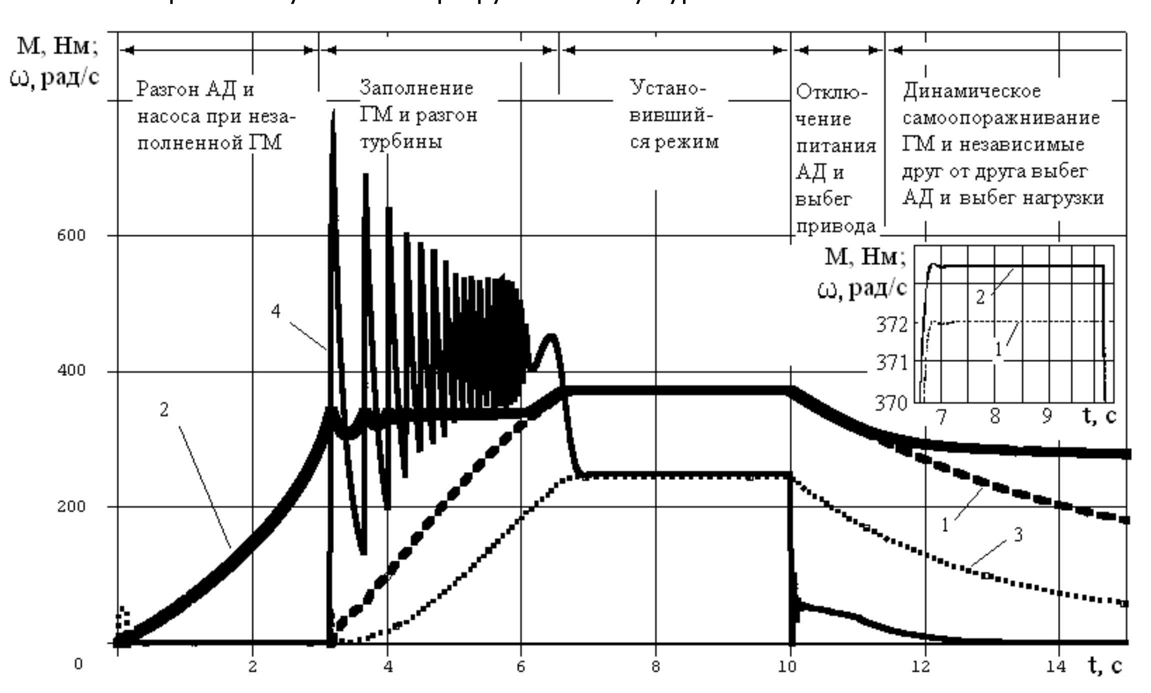


Рис. 5. Результаты компьютерного моделирования динамики привода при ГМ с динамическим самоопоражниванием

Для ГМ с динамическим самоопоражниванием результаты моделирования приведены на рис. 5, где график *1* — частота вращения турбины $\omega_{турбины}$, график *2* — частота вращения насоса ГМ $\omega_{насоса}$, график *3* — момент нагрузки на валу турбины $M_{нагрузки}$, график *4* — момент на валу насоса ГМ $M_{насосаГМ}$. Сценарий в этом случае следующий: пуск АД производится при незаполненном жидкостью рабочем объёме ГМ. Процесс заполнения ГМ рабочей жидкостью начинается при достижении валом насоса частоты вращения 90 % от номинальной, то есть при достижении $\omega_{насосаКР}$

(это начало разгона нагрузки и турбины). Привод выходит на устойчивый установившийся режим работы. В момент времени $t_{off} = 10$ с происходит отключение питания АД. Вследствие этого привод переходит в режим «выбега». При снижении частоты вращения вала насоса до 90 % от номинальной начинается процесс самоопоражнивания ГМ, по окончании которого ротор АД и нагрузка разъединяются, совершая далее «выбег» независимо друг от друга.

Выводы. Результаты компьютерного моделирования электрогидродинамического привода адекватно отражают сущность реальных физических процессов [12], происходящих на динамических и статических режимах асинхронного электропривода с ГМ. Использование ГМ с динамическим самоопоражниванием позволяет осуществить присоединение нагрузки к уже разогнавшемуся АД, существенно облегчая процесс его пуска [12], рис. 5.

Библиографический список

1. Соколовский, Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учеб. для вузов / Г. Г. Соколовский. — Москва: Академия, 2006. — 272 с.

2. Копылов, И. П. Математическое моделирование электрических машин: учеб. для вузов / И. П. Копылов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Высш. шк., 1994. — 318 с.

3. Пустоветов, М. Ю. Расчёт активного сопротивления в контуре намагничивания модели асинхронного двигателя, основанной на Т-образной схеме замещения, для случая параллельного соединения активного сопротивления и индуктивности / М. Ю. Пустоветов, И. В. Синявский // Транспорт-2010: тр. Всерос. науч.-практ. конф., апрель 2010 г.: в 3 ч. / РГУПС. — Ростов-на-Дону, 2010. — Ч. 2: Естественные и технические науки. — С. 377—378.

4. Проектирование электрических машин: учеб. для вузов / И. П. Копылов [и др.]; под ред. И. П. Копылова. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва: Высш. шк., 2002. — 757 с.

5. Сипайлов, Г. А. Математическое моделирование электрических машин (АВМ): учеб. пособ. для вузов / Г. А. Сипайлов, А. В. Лоос. — Москва: Высш. шк., 1980. — 176 с.

6. Башарин, А. В. Примеры расчёта автоматизированного электропривода на ЭВМ: учеб. пособ. для вузов / А. В. Башарин, Ю. В. Постников. — 3-е изд. — Ленинград: Энергоатомиздат, 1990. — 512 с.

7. Пустоветов, М. Ю. О динамике тепловых процессов в асинхронном двигателе при несимметрии питающих напряжений / М. Ю. Пустоветов, И. В. Синявский // Вестник ДГТУ. — 2011. — Т. 11, № 8 (59), вып. 1. — С. 1227—1237.

8. Моделирование процессов в асинхронном двигателе с регулируемым выходным напряжением инвертора / И. В. Пехотский [и др.] // Электровозостроение: сб. науч. тр. — 2002. — Т. 44. — С. 184—193.

9. Озерский, А. И. Модель гидромуфты с асинхронным электрическим двигателем / А. И. Озерский // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. — 2011. — № 5. — С. 58—66.

10. Осичев, А. В. Оценка влияния гидромуфты на динамические усилия в скребковом конвейере СР72 при заклинивании рабочего органа / А. В. Осичев, А. А. Ткаченко // Вісник КДУ імені Михайла Остроградського. — 2010. — Вип. 4 (63), ч. 3. — С. 127—129.

11. Озерский, А. И. Основы моделирования гидромуфт, работающих в тяжёлых условиях эксплуатации / А. И. Озерский // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. — 2012. — № 1. — С. 105—113.

12. Гавриленко, Б. А. Гидродинамические муфты и трансформаторы / Б. А. Гавриленко, И. Ф. Семичастнов. — Москва: Машиностроение, 1969. — 392 с.

Материал поступил в редакцию 30.10.2011.

References

1. Sokolovskij, G. G. E`lektroprivody` peremennogo toka s chastotny`m regulirovaniem: ucheb. dlya vuzov / G. G. Sokolovskij. — Moskva: Akademiya, 2006. — 272 s. — In Russian.

2. Kopy`lov, I. P. Matematicheskoe modelirovanie e`lektricheskix mashin: ucheb. dlya vuzov / I. P. Kopy`lov. — 2-e izd., pererab. i dop. — Moskva: Vy`ssh. shk., 1994. — 318 s. — In Russian.

3. Pustovetov, M. Yu. Raschyot aktivnogo soprotivleniya v konture namagnichivaniya modeli asinxronnogo dvigatelya, osnovannoj na T-obraznoj sxeme zameshheniya, dlya sluchaya parallel`nogo soedineniya aktivnogo soprotivleniya i induktivnosti / M. Yu. Pustovetov, I. V. Sinyavskij // Transport-2010: tr. Vseros. nauch.-prakt. konf., aprel` 2010 g.: v 3 ch. / RGUPS. — Rostov-na-Donu, 2010. — Ch. 2: Estestvenny`e i texnicheskie nauki. — S. 377—378. — In Russian.

4. Proektirovanie e`lektricheskix mashin: ucheb. dlya vuzov / I. P. Kopy`lov [i dr.]; pod red. I. P. Kopy`lova. — 3-e izd., ispr. i dop. — Moskva: Vy`ssh. shk., 2002. — 757 s. — In Russian.

5. Sipajlov, G. A. Matematicheskoe modelirovanie e`lektricheskix mashin (AVM): ucheb. posob. dlya vuzov / G. A. Sipajlov, A. V. Loos. — Moskva: Vy`ssh. shk., 1980. — 176 s. — In Russian.

6. Basharin, A. V. Primery` raschyota avtomatizirovannogo e`lektroprivoda na E`VM: ucheb. posob. dlya vuzov / A. V. Basharin, Yu. V. Postnikov. — 3-e izd. — Leningrad: E`nergoatomizdat, 1990. — 512 s. — In Russian.

7. Pustovetov, M. Yu. O dinamike teplovy`x processov v asinxronnom dvigatele pri nesimmetrii pitayushhix napryazhenij / M. Yu. Pustovetov, I. V. Sinyavskij // Vestnik DGTU. — 2011. — T. 11, № 8 (59), vy`p. 1. — S. 1227—1237. — In Russian.

8. Modelirovanie processov v asinxronnom dvigatele s reguliruemy`m vy`xodny`m napryazheniem invertora / I. V. Pexotskij [i dr.] // E`lektrovozostroenie: sb. nauch. tr. — 2002. — T. 44. — S. 184—193. — In Russian.

9. Ozerskij, A. I. Model` gidromufty` s asinxronny`m e`lektricheskim dvigatelem / A. I. Ozerskij // Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Texn. nauki. — 2011. — № 5. — S. 58—66. — In Russian.

10. Osichev, A. V. Ocenka vliyaniya gidromufty` na dinamicheskie usiliya v skrebkovom konvejere SR72 pri zaklinivanii rabochego organa / A. V. Osichev, A. A. Tkachenko // Visny`k KDU imeni My`xajla Ostrograds`kogo. — 2010. — Vy`p. 4 (63), ch. 3. — S. 127—129. — In Russian.

11. Ozerskij, A. I. Osnovy` modelirovaniya gidromuft, rabotayushhix v tyazhyoly`x usloviyax e`kspluatacii / A. I. Ozerskij // Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Texn. nauki. — 2012. — № 1. — S. 105—113. — In Russian.

12. Gavrilenko, B. A. Gidrodinamicheskie mufty` i transformatory` / B. A. Gavrilenko, I. F. Semichastnov. — Moskva: Mashinostroenie, 1969. — 392 s. — In Russian.

ASYNCHRONOUS LIQUID-CLUTCH DRIVE COMPUTER SIMULATION

A. I. Ozerskiy, M. Y. Pustovetov, V. S. Minakov
(Don State Technical University)

Computer simulation issues of the asynchronous liquid-clutch drive with constant and changing fill types are considered.
Keywords: *induction motor model, fluid coupling model, start, overload, stop.*

УДК 681.518.3:632.982

Автоматическое планирование траектории полёта летательных аппаратов при авиахимической обработке полей

Д. Я. Паршин, А. С. Копкин
(Донской государственный технический университет)

Изложены методы планирования и расчёта траектории движения сверхлёгкого летательного аппарата при проведении авиахимических работ. Предложены методы коррекции и преобразования координат, получаемых со спутниковой навигационной системы, и упреждающего сглаживания для исключения влияния инертности системы «пилот — летательный аппарат».
Ключевые слова: *автоматическое планирование, авиахимические работы, параллельное вождение, снос химикатов.*

Введение. В настоящее время при химической обработке полей всё чаще используется малая авиация, что обусловлено высокой скоростью проведения работ, их большими объёмами, низкой стоимостью гектара обработанной площади. Однако проведение авиахимической обработки полей является сложным и зачастую опасным видом работ, требующим применения специальных систем контроля и регулирования, которые должны обеспечивать параллельное вождение летательного аппарата с требуемой точностью при внесении химических веществ, с учётом бокового ветра и корректировкой траектории для достижения наилучшего результата [1]. Существующие системы параллельного вождения ориентированы на наземную технику, и применение их в авиации ограниченно. В данной статье авторами предлагается опорно-эквидистантный метод корректировки траектории движения летательного аппарата, позволяющий формировать направление движения на основе задания опорной и последовательного построения эквидистантных ей траекторий по четырём точкам.

Основой для планирования и корректирования является спутниковая навигационная система ГЛОНАСС/GPS. Очевидным является тот факт, что используемая в данных системах геостационарная система координат не подходит для реализации требуемой задачи, т. к. обладает излишней информативностью и существенно усложняет вычислительные операции [2]. Также имеет место ряд специфических особенностей систем навигации, которые могут значительно ухудшить результаты расчёта либо сделать их некорректными.

При расчёте траектории полёта необходимо учитывать инерцию летательного аппарата и время реакции пилота — в противном случае возможно возникновение автоколебаний системы «пилот — машина», также приводящих к ухудшению результата. Предлагаемый алгоритм учитывает все вышеописанные особенности управления воздушным судном при проведении авиахимических работ, что позволит уменьшить погрешности обработки, существенно снизить потери урожая, а также наносимый окружающей среде вред.

Метод упрощённого преобразования координат. Для измерений необходимо определить систему координат, в которой будут проводиться расчёты. Наиболее целесообразно использовать декартову систему координат с началом в первой полученной точке обрабатываемого поля, а координатами следующих точек считать их отклонения от нового начала. Далее необходимо произвести преобразование размерностей полученных точек из геоцентрической системы координат в метрическую систему:

$$y_{нов} = y_{гц} \cdot 1849{,}1\,, \quad x_{нов} = x_{гц} \cdot 40075695{,}3 \cdot \cos\left(y_{гц}\right)/360\,,$$

где $x_{нов}, x_{гц}$, $y_{нов}, y_{гц}$ — абсциссы и ординаты точки в метрической и геоцентрической системах координат.

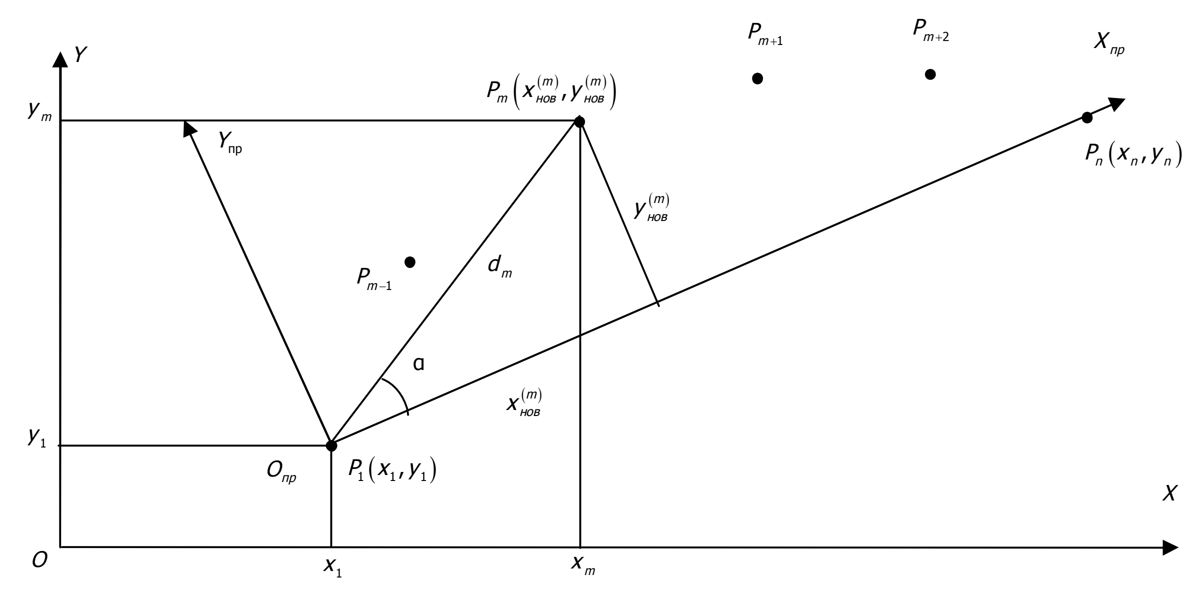


Рис. 1. Преобразование системы координат

Основными параметрами траектории первого гона являются начальная $O_1(x_1, y_1)$ и конечная $O_n(x_n, y_n)$ точки. Начало координат в новой связанной системе отождествляется с первой сохранённой точкой $O_1(x_1, y_1)$, при этом ось абсцисс направляется вдоль линии, соединяющей первую и последнюю точку, а ось ординат — ортогонально к ней в направлении формирования правой системы координат (рис. 1).

Уравнение прямой, проходящей через указанные точки $P_1(x_1, y_1)$ и $P_n(x_n, y_n)$, запишем в виде $(y_1 - y_n)x + (x_n - x_1)y + (x_1 y_n - x_n y_1) = 0$. Так как первая точка является началом координат, то коэффициенты в уравнении прямой $A_1 x + B_1 y + C_1 = 0$ будут следующие: $A_1 = -y_n, B_1 = x_n, C_1 = 0$. Эта прямая является осью абсцисс системы координат $X_{пр}O_{пр}Y_{пр}$. Так как ось ординат расположена ортогонально, то отклонения точек от прямой P_1P_n являются их ординатами. Расстояние от точки $P_m\left(x_{нов}^{(m)}, y_{нов}^{(m)}\right)$ до оси $X_{пр}$ вычисляется следующим образом:

$$y_{нов}^{(m)} = \frac{A_1 x_m + B_1 y_m + C_1}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2}},$$

или при $C_1 = 0$

$$y_{нов}^{(m)} = \frac{A_1 x_m + B_1 y_m}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2}}.$$

Абсцисса $x_{нов}^{(m)}$ рассматривается как расстояние между началом координат и перпендикуляром, опущенным из точки на прямую P_1P_n, и составляет

$$x_{нов}^{(m)} = \sqrt{d_m^2 - \left(y_{нов}^{(m)}\right)^2},$$

где d_m — расстояние P_1P_m.

Знак отклонения определяется по знаку угла между прямыми P_1P_m : $A_1x + B_1y + C_1 = 0$ и P_1P_n : $A_2x + B_2y + C_2 = 0$, в соответствии с уравнением:

$$\alpha = \operatorname{arctg}\frac{A_1B_2 - A_2B_1}{A_1A_2 + B_1B_2}.$$

Для того чтобы определить знак отклонения, необходимо сравнить знаки полученного угла и $y_{нов}^{(m)}$. Если эти знаки совпадают, то абсцисса в новой системе координат положительна, в противном случае — отрицательна.

Корректировка координат навигационной системы. Одной из особенностей современных систем позиционирования является наличие так называемых «скачков позиции» вследствие влияния различных помех, в том числе ионосферных искажений, эффекта многолучевого распространения и др. Как показали исследования, при статическом позиционировании разброс значений достигает 2—5 метров. При проведении авиахимических работ скачки координат могут внести существенную погрешность в измерения текущего положения техники и привести к значительному ухудшению качества выполняемых работ. Однако данные скачки координат можно корректировать. Предлагается метод корректировки, основанный на измерении ускорения движения летательного аппарата. Частота поступающих данных с навигационной системы равна 5 Гц, следовательно, время $T_д$ между расчётами не превышает 0,2 с. В этом случае ускорение ε, развиваемое техникой на данном интервале времени, составляет $\varepsilon = (V_n - V_m) \cdot 5$, где V_m, V_n — скорости, измеренные на предыдущей и текущей итерациях соответственно.

При авиахимических работах требуется максимально линейное движение летательного аппарата с постоянной скоростью. При возникновении скачка расчётное ускорение может иметь значительную величину (рис. 2, точка P_3). При движении техники с навигационной системы поступают сигналы о рассчитанном текущем местоположении летательного аппарата (X_0, Y_0), (X_1, Y_1), (X_2, Y_2), (X_3, Y_3). В каждый момент времени позиционирования текущая скорость движения техники в i-й точке равна

$$V_i = \sqrt{\left(X_i - X_{i-1}\right)^2 + \left(Y_i - Y_{i-1}\right)^2} \Big/ T_д,$$

где i = 1, 2, 3, 4 — номер точки.

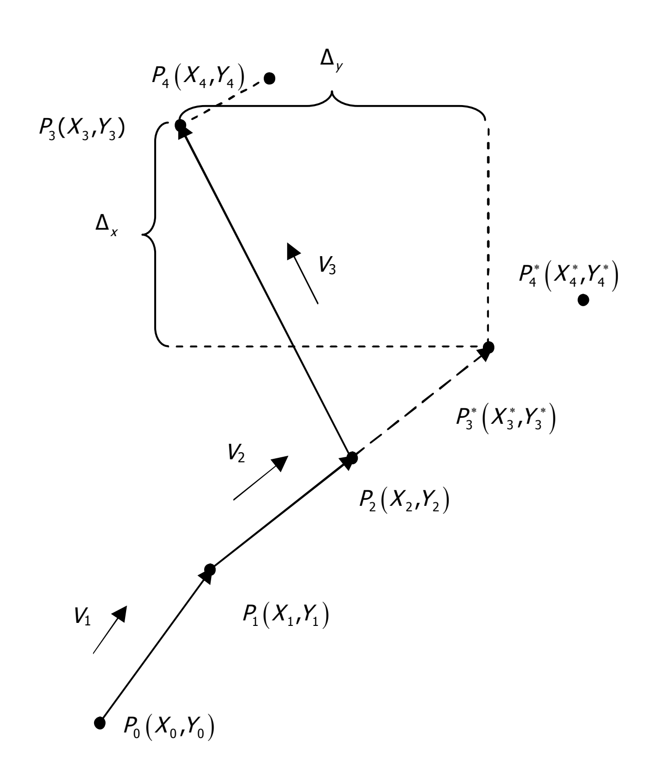


Рис. 2. Схема движения техники

Для обнаружения ошибки позиционирования, т. е. выявления фактического скачка, следует при каждом новом поступлении координат с навигационной системы производить расчёт ускорения и проверять условие $\varepsilon_т < \varepsilon_{доп}$, где $\varepsilon_т$ — текущее значение ускорения техники, $\varepsilon_{доп}$ — допустимое ускорение техники. При невыполнении этого условия необходимо корректировать расчётное местоположение. Для этого полагаем, что движение происходило в том же направлении и с той же скоростью, тогда отклонения по координатам для рассматриваемого случая составляют $\delta_x = X_2 - X_1$,

$\delta_y = Y_2 - Y_1$. В этом случае координаты истинного положения точки $P_3^*\left(X_3^*, Y_3^*\right)$ равны $X_3^* = X_2 + \delta_x$, $Y_3^* = Y_2 + \delta_y$, а величина ошибки позиционирования по координатам составит $\Delta_x = X_3^* - X_3$, $\Delta_y = Y_3^* - Y_3$.

Общая ошибка позиционирования по координатам определяется суммой текущей и предыдущей ошибок $\partial_{nx}, \partial_{ny}$: $\partial_x = \partial_{nx} + \Delta_x$, $\partial_y = \partial_{ny} + \Delta_y$. При расчёте текущего местоположения на последующих итерациях в случае отсутствия скачка координаты текущего местоположения корректируются на величину общей ошибки позиционирования $X_4^* = X_4 + \partial_x$, $Y_4^* = Y_4 + \partial_y$. Если же обнаружен скачок, то необходимо производить коррекцию, описанную выше.

Планирование траектории движения. В результате записи первого гона и проведения преобразования координат формируется массив точек $P_m\left(x_{нов}^{(m)}, y_{нов}^{(m)}\right)$, который является основой для опорно-эквидистантного метода планирования направления движения летательного аппарата. Учитывая, что расположение точек имеет неравномерный дискретный характер, для обеспечения расчёта требуемой траектории движения в реальном времени необходимо производить интерполяцию данных методом наименьших квадратов Гаусса. Использование этого метода интерполяции связано с определёнными ограничениями. Ввиду нелинейности характера траектории движения летательного аппарата, а также из-за погрешностей позиционирования навигационной системы применять интерполяцию по всем данным нецелесообразно. Интерполяционная кривая, построенная по всем точкам траектории, требует значительных вычислительных мощностей и не подходит для применения в малых микропроцессорных системах.

Поэтому при расчёте требуемой траектории движения предлагается использовать 4 ближайшие точки из массива точек первого гона $P_m\left(x_{нов}^{(m)}, y_{нов}^{(m)}\right)$, при этом внутренние две точки используются непосредственно для расчёта отклонения, а внешние — для задания характера интерполяционной кривой (рис. 3).

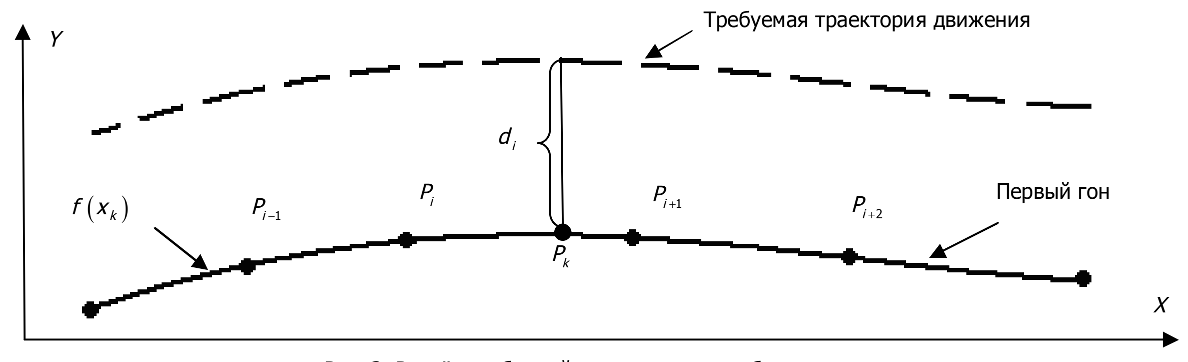


Рис. 3. Расчёт требуемой траектории по рабочим точкам

Для определения интервала последовательно просматриваются все точки массива, и если значение абсциссы находится в пределах точек P_iP_{i+1} , тогда этот интервал принимается за искомый. После определения рабочего интервала берутся крайние точки интервала P_iP_{i+1} , а также точка P_{i-1} и точка P_{i+2} , если таковые имеются. В случае отсутствия P_{i-1} и P_{i+2} используются точки P_{i+1} и P_{i-2} соответственно. Далее в процессе движения летательного аппарата рассматриваются только лишь шесть точек массива — выбранные ближайшие четыре (рабочие точки), а также следующая за ними, и предшествующая им (вероятные точки), если таковые имеются. В каждый мо-

мент времени рассчитывается расстояние от текущей ординаты до всех точек, и если определяется, что расстояние до какой-либо вероятной точки меньше расстояния до рабочей точки, то происходит смещение основных точек в её сторону.

Для того чтобы максимально упростить деятельность эксплуатанта сельскохозяйственной техники и систематизировать значения координат обработанных участков, целесообразно определять сторону обработки (гон слева или справа).

Так как число рабочих точек равно четырём, то интерполяционная кривая представляет собой кубический сплайн. При расчёте отклонения необходимо рассчитать расстояние от интерполяционной кривой до текущей точки: $d_i = y_k - f(x_k)$, где y_k — ордината текущей точки P_k, $f(x_k)$ — интерполяционная кривая, построенная по четырём рабочим точкам для точки P_i.

Найденное расстояние d_i представляет собой текущее отклонение летательного аппарата от первоначальной траектории движения. Для нахождения полосы обработки и отклонения от неё вычисляется число полуполос $n_{пп}$ для задания ширины захвата l, которые содержит в себе отклонение: $n_{пп} = 2d_i / l$. Необходимость расчёта не полос, а полуполос обусловлена тем, что отсчёт ведётся от середины захвата, а не от его начала. Далее определяется номер полосы, по которой происходит движение в текущий момент времени: $n_п = 0{,}5(n_{пп} + 1)$. После определения номера текущего гона (полосы обработки) рассчитывается ошибка отклонения движения техники: $\delta_{пол} = d_i - l \cdot n_п$.

Полученное отклонение может служить основой корректировки курса летательного аппарата при проведении авиахимических работ. Однако, ввиду высокой скорости перемещения летательного аппарата, его инертности, времени реакции пилота, а также дискретности поступающих данных, вождение по текущему отклонению может усложнить пилотирование и привести к колебательному процессу обработки полей. В связи с этим предпочтительным является прогнозирование положения летательного аппарата на основе истории его движения, т. е. выполнение коррекции на основе экстраполяции траектории его движения. Для расчёта будущего положения используются координаты трёх предыдущих точек движения, по которым методом численной интерполяции строится парабола движения. После этого выполняется экстраполяция функции с шагом равным, среднему шагу используемых точек: $x_{буд} = x_1 + (x_1 - x_3)/2$, $y_{буд} = f(x_{буд})$, где x_1, x_2, x_3 — абсциссы используемых точек движения; $f(x_{буд})$ — интерполяционная кривая, построенная по этим точкам.

Выводы. Авторами предложен алгоритм автоматического планирования и корректировки траектории полёта летательных аппаратов при авиахимической обработке полей. Особенностями данного алгоритма являются ориентированность на сверхлёгкие летательные аппараты, учёт влияния бокового ветра на величину и снос рабочей полосы обработки поля. Отличительной чертой предложенного алгоритма также является использование алгоритмов сглаживания, ориентированных на устранение колебательности при корректировке отклонения от требуемой траектории движения, вызванной инертностью летательного аппарата и задержками в реакции пилота. Применение предложенного алгоритма на практике позволит существенно повысить качество химической обработки полей путём исключения грубых ошибок обработки, а также уменьшить вредное влияние на окружающую среду.

Библиографический список

1. Дудник, В. В. Упрощённая модель визуализации осаждения капель при проведении авиахимических работ с использованием вертолёта / В. В. Дудник // Научный вестник Московско-

го государственного технического университета гражданской авиации. — 2011. — № 163. — С. 191—198.

2. Grewal, M. S. Global Positioning System, Inertial Navigation, and Integration / M. S. Grewal, L. R. Weill, A. P. Andrews. — Second edition. — New York: John Wiley & Sons, 2007. — 552 p.

Материал поступил в редакцию 10.11.2011.

References

1. Dudnik, V. V. Uproshhyonnaya model` vizualizacii osazhdeniya kapel` pri provedenii aviaximicheskix rabot s ispol`zovaniem vertolyota / V. V. Dudnik // Nauchny`j vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta grazhdanskoj aviacii. — 2011. — № 163. — S. 191—198. — In Russian.

2. Grewal, M. S. Global Positioning System, Inertial Navigation, and Integration / M. S. Grewal, L. R. Weill, A. P. Andrews. — Second edition. — New York: John Wiley & Sons, 2007. — 552 p.

AUTOMATED PLANNING OF FLIGHT TRAJECTORY UNDER CROP DUSTING

D. Y. Parshin, A. S. Kopkin
(Don State Technical University)

Microlight trajectory scheduling and prediction methods for crop dusting are given. The techniques of the correction and transformation of coordinates from the satellite navigation system, and of the advanced smoothing for excluding the inertia affection of the 'pilot — microlight' system, are offered.
Keywords: *automated planning, crop dusting, parallel pilotage, drift of chemicals.*

УДК 621.9.06:623.5

Методика расчёта и проектирования ограждения стенда виброударного упрочнения длинномерных деталей

М. Е. Попов, В. П. Жаров
(Донской государственный технический университет)

Рассмотрена конструкция звукозащитного ограждения стенда виброударного упрочнения лонжеронов вертолётов. Показана эффективность снижения шума в рабочей зоне операторов.
Ключевые слова: *методика расчёта, методика проектирования, расчёт ограждения, проектирование ограждения.*

Введение. Экспериментальные исследования на участке виброударного упрочнения показали, что уровни звукового давления на рабочих местах превышают санитарные нормы практически во всём нормируемом диапазоне частот [1]. Причём превышение октавных уровней достигает 30 дБ. Столь высокое снижение может быть обеспечено только шумозащитной конструкцией.

Результаты исследований. Экспериментальные исследования шума на этом участке выявили требуемую величину звукоизоляции системы шумозащиты (рис. 1).

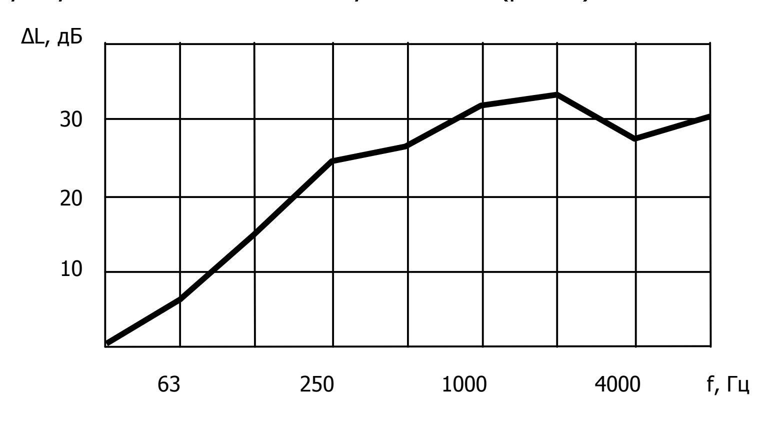


Рис. 1. Требуемая величина звукоизоляции стенда виброударного упрочнения

Компоновка несущей системы стенда определила рациональный вариант шумозащитной конструкции туннельного типа. Конструкция его состоит из трёх арочных секций, входящих одна в другую (рис. 2).

При выполнении операций по установке и снятию контейнеров с вибростенда секции укрытия находятся за пределами зоны обслуживания стенда рабочими.

Перед включением электродвигателей приводов вибраторов стенда секции шумозащитного укрытия накатываются над вибрирующей конструкцией стенда. После этого включаются электродвигатели приводов вибраторов для выполнения процесса упрочнения поверхностей лонжерона.

Внутренний объём шумозащитного укрытия над вибрирующей плитой вибростенда разделён перегородками на зоны, ограничивающие распространение шума через проёмы в торцах. Внешнее пространство под площадками, расположенное в торцах вибростенда, закрывается щитами с шумопоглощающим покрытием. Эти щиты одновременно служат защитой клиноремённых передач приводов вибраторов (рис. 3).

Перемещение секций укрытия производится вручную по рельсам, проложенным для каждой секции отдельно.

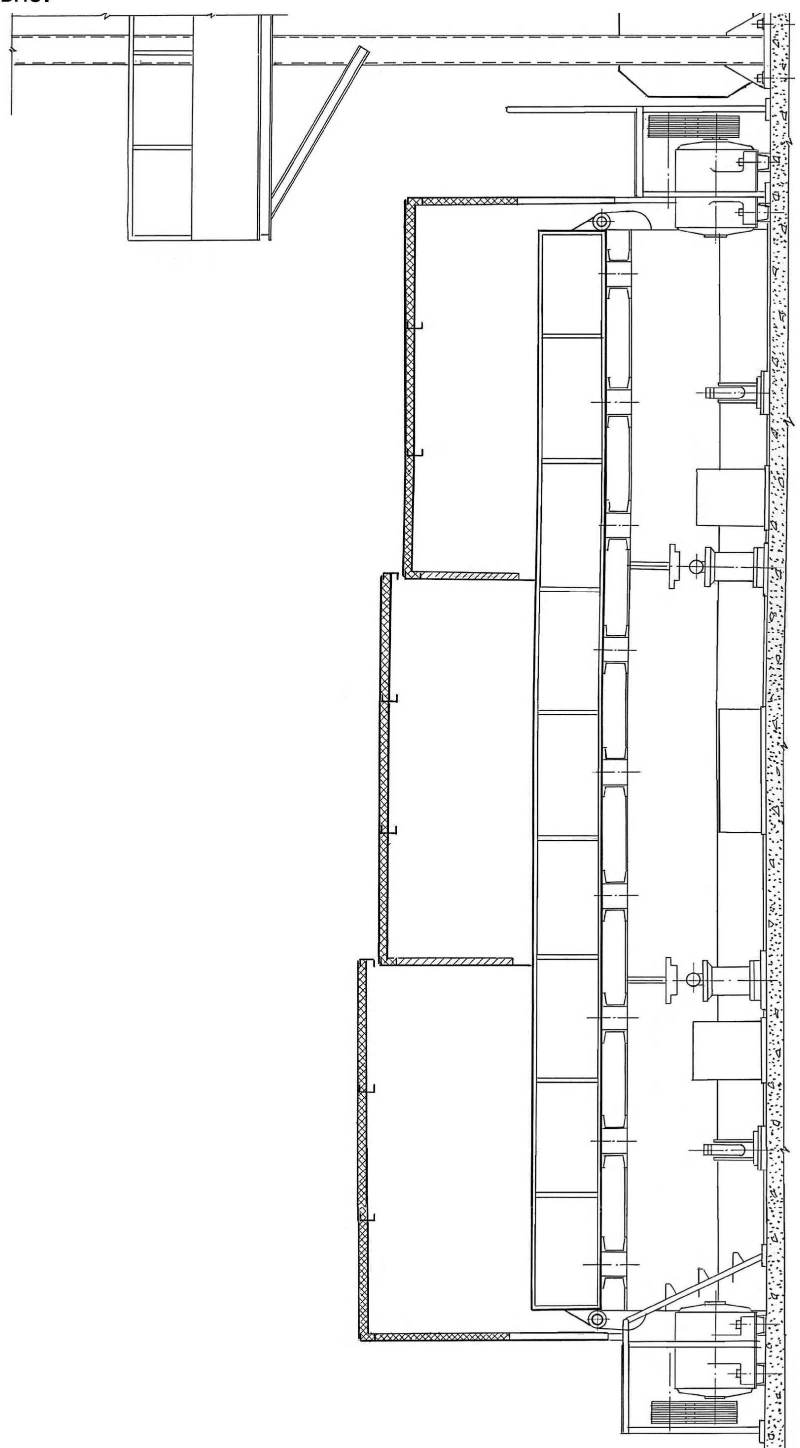


Рис. 2. Система шумозащиты вибростенда

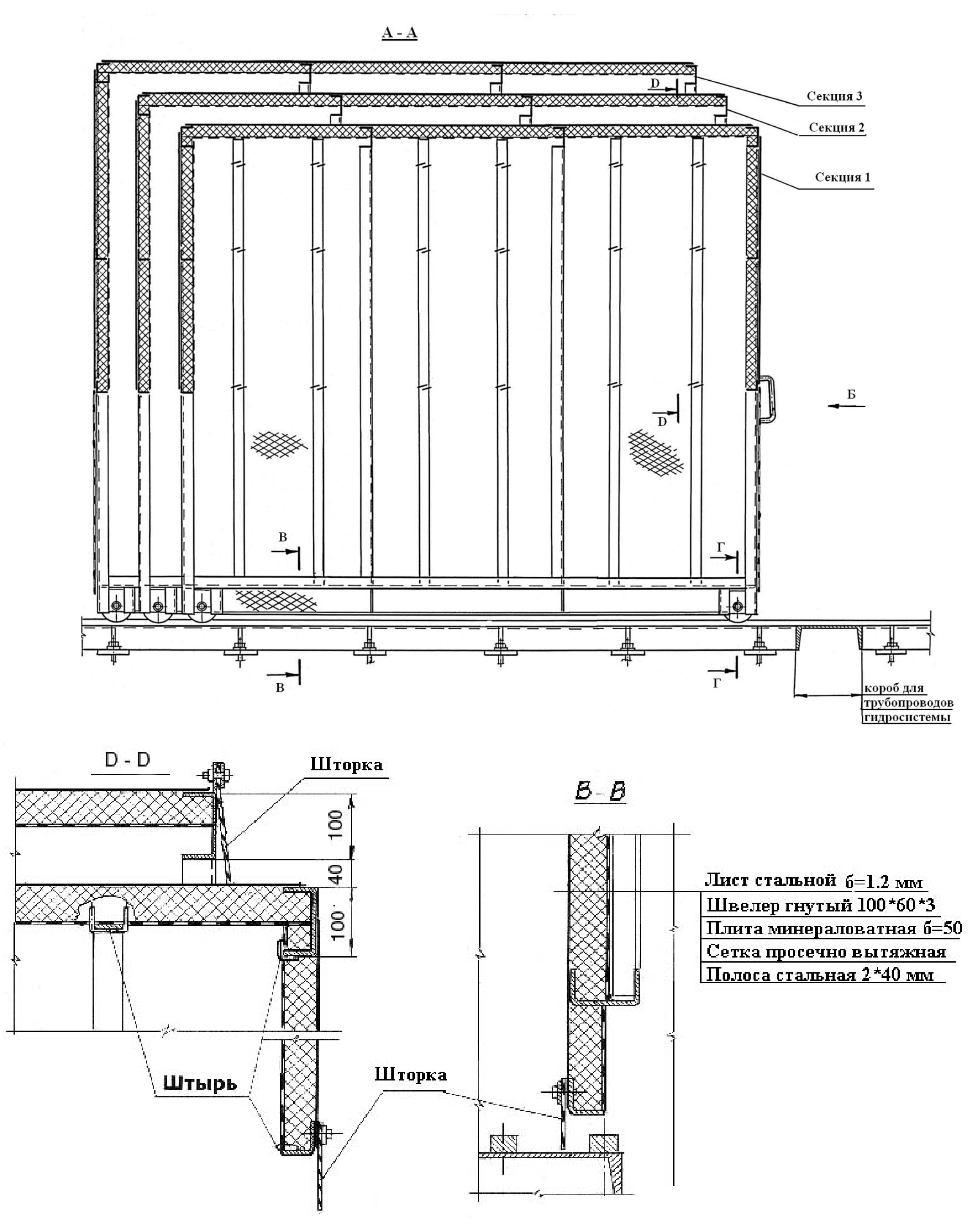


Рис. 3. Расположение звукопоглощающих материалов на элементах стенда

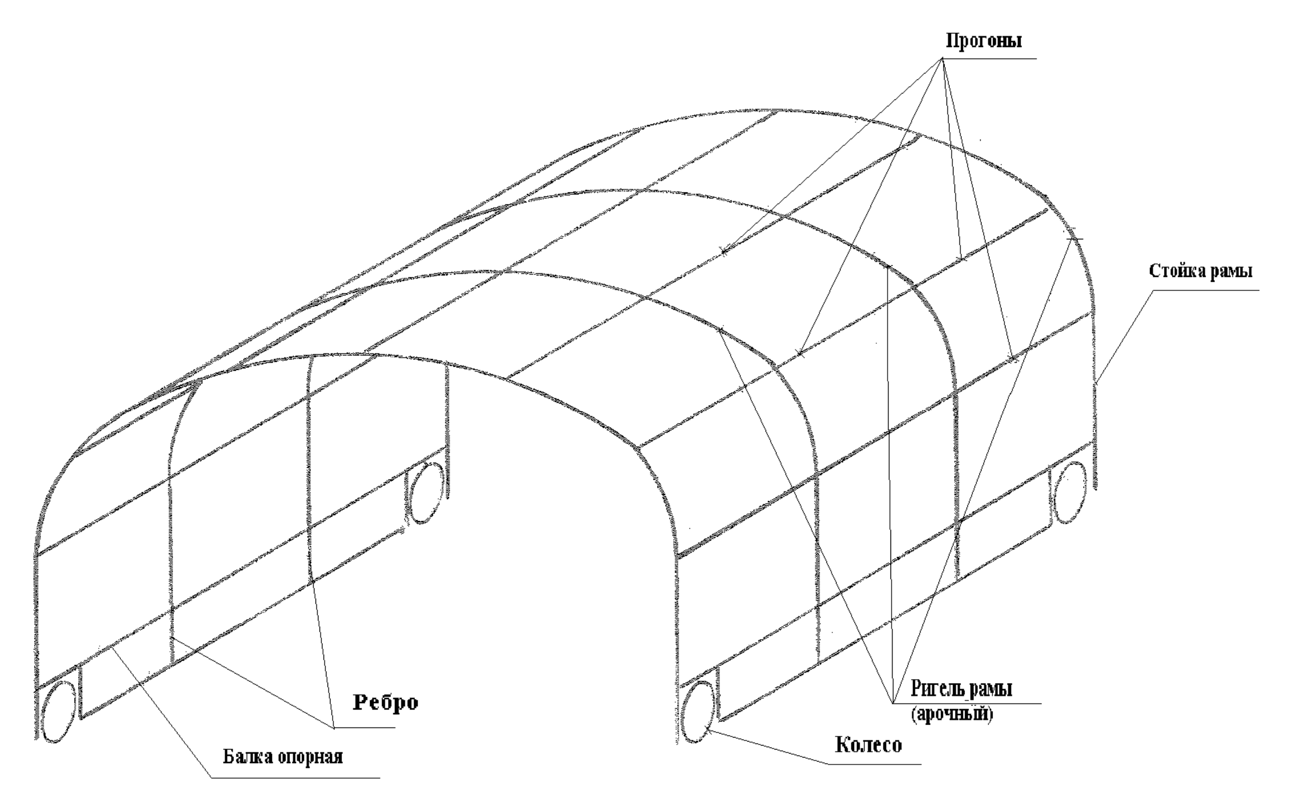


Рис. 4. Схема каркаса секции

Конструкция секций. Схема несущего каркаса секций шумозащитного укрытия представлена на рис. 4. Каркас каждой секции состоит из 4 арочных рам, соединённых между собой прогонами. Рама выполнена из двух элементов — арочного ригеля и двух стоек. Рамы каркаса установлены на опорную балку. Элементы каркаса секции: арочная рама и опорная балка выполнены из швеллера стального гнутого равнополочного 100×60×3. Остальные элементы каркаса: прогоны, ребро жёсткости выполнены из уголка стального гнутого равнополочного 50×50×3.

Арочная конструкция рамы в сравнении с рамой прямоугольной формы позволяет экономить количество швеллера (по весу), идущего на её изготовление, до 7 %, одновременно облегчая нагрузку на каркас секции.

Весь каркас секции снаружи обшит стальными листами (δ = 1,2 мм), крепящимся к металлоконструкции секции сваркой.

С одного торца каждая из 3 секций закрыта диафрагмой, обеспечивающей большую жёсткость арочному ригелю рамы. Проём в диафрагме повторяет поперечный контур вибростенда с зазором для свободного перемещения секций укрытия над ним. Секция 3 имеет диафрагму с двух торцов.

Диафрагма выполнена из стального листа (δ = 1,2 мм) и элементов жёсткости, выполненных из стального гнутого уголка. В узлах соединения элементов жёсткости диафрагмы и швеллера арочного ригеля рамы в открытый профиль швеллера ввариваются рёбра жёсткости. Такие же рёбра жёсткости размещены в местах соединения (стыковки) прогонов и ригелей рамы.

Металлоконструкция каждой секции снабжена 4 двухребордными неприводными колёсами для перемещения по рельсам отдельно для каждой секции. Рельсы, выполненные из стали 40Х25, смонтированы на прокатном швеллере 33. Такое решение продиктовано необходимостью прокладки трубопроводов гидросистемы прижима контейнеров от гидростанции к вибростенду.

Каждая секция снабжена трубчатыми поручнями, расположенными в узле соединения арочного ригеля и стойки рамы для удобства перемещения их по рельсам. Это дополняет жёсткость узла соединения арки и стоек металлоконструкции секций.

Звукоизоляционные материалы, исполнение и крепление. В качестве звукопоглощающего материала применены минераловатные маты плотностью 50 кг/м^3 и толщиной δ = 50 мм.

Изнутри поверхность обшивки секции и диафрагмы покрывается звукоизоляционным материалом. Маты раскраиваются по контурам образованным элементами металлоконструкции секции. Для исключения попадания частиц материала в воздух помещения цеха выкроенный материал помещается в оболочку из полиэтиленовой плёнки со сваркой её по контуру стыка. Изготовленные таким образом «пакеты» вкладываются в металлоконструкцию и покрываются сеткой (рис. 5). Такая сетка выпускается промышленностью из стального листа δ = 1…1,2 мм просечкой с последующей вытяжкой. Сетка поджимает уложенные пакеты по всему арочному контуру металлоконструкции. Она закреплена между двумя соседними арочными стальными полосами 2×40.

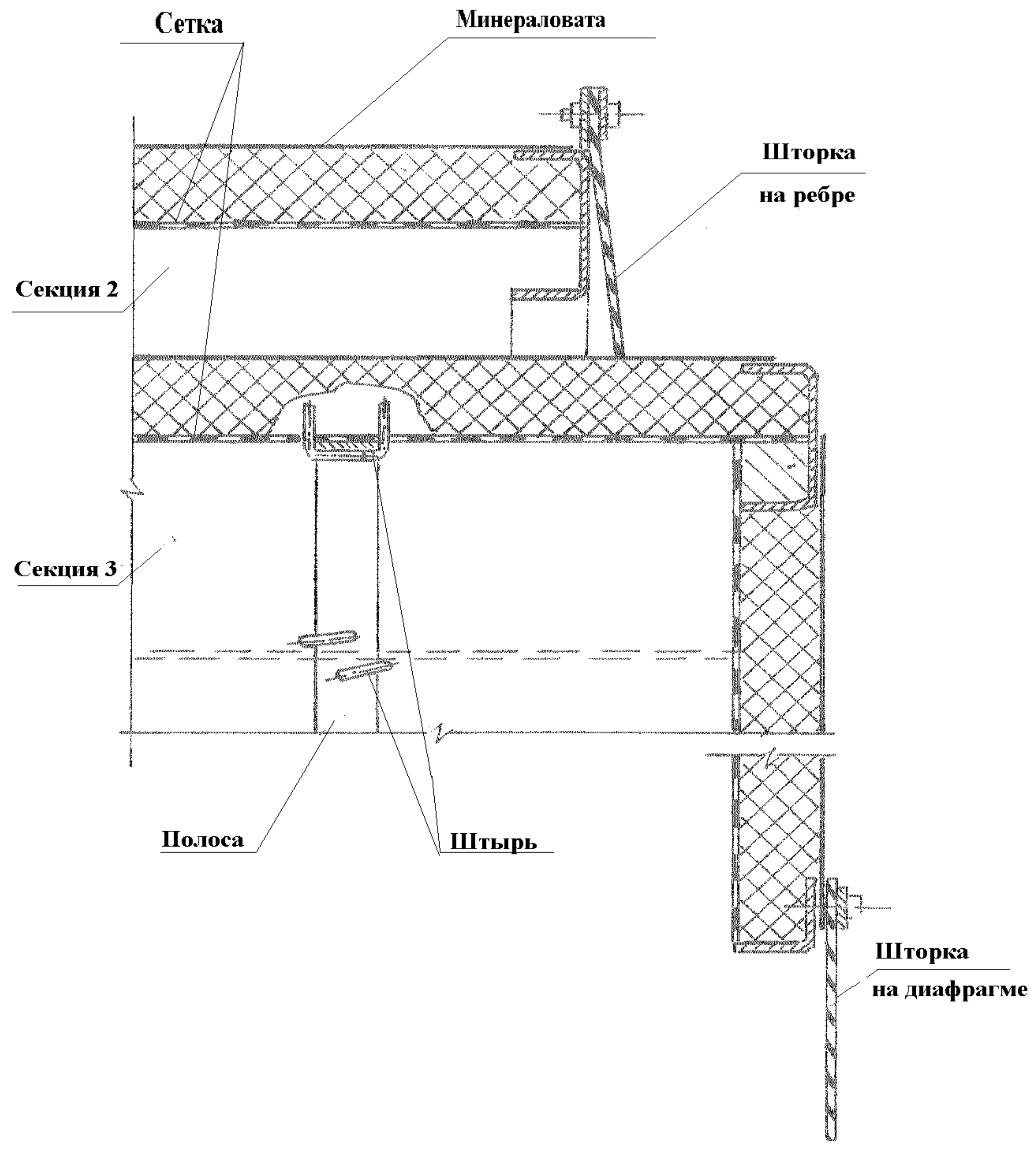


Рис. 5. Расположение и крепление звукоизоляции

Крепление полос производится штырями из проволоки диаметром 3…4 мм, приваренными попарно к каждому прогону и отгибаемыми на наружную поверхность полос. Длина полос должна быть такой, чтобы они повторяли арочный контур секции и не имели возможности осевого перемещения. Зазор по контуру между секциями 1 и 2; 2 и 3 перекрывается резиновой шторкой, закрепляемой на ребре, приваренном по торцу 1 и 2 секции (рис. 5), также шторками защищён зазор по контуру проёма диафрагмы 1 и 3 секции и поверхности вибростенда.

Для выполнения манипуляций с контейнерами вибростенда с обоих его торцов располагаются обслуживающие площадки. Под ними размещены электродвигатели и клиноремённые приводы вибраторов. С целью уменьшения открытых проёмов для распространения звука работающего вибростенда со стороны клиноремённой передачи приводов вибраторов под площадками устанавливаются звукоизоляционные щиты. Эти щиты крепятся ниже уровня пола площадок и являются одновременно защитой шкивов ремённых передач.

Фактическая звукоизоляция шумозащитного укрытия, которая проверялась по разнице уровней шума в рабочей зоне без ограждающей конструкции и при её установке, приведена на рис. 6.

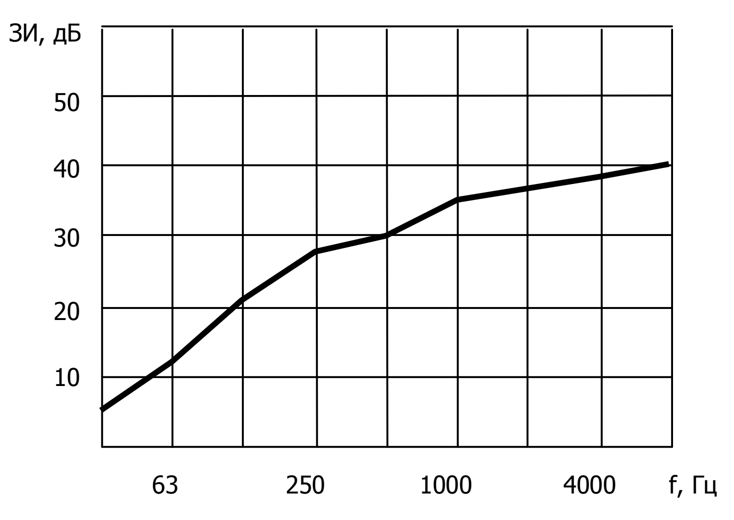


Рис. 6. Звукоизолирующая способность шумозащитного укрытия

Заключение. Таким образом, в результате монтажа шумозащитного укрытия уровни шума в рабочей зоне операторов на участке виброударного упрочнения лонжеронов понижены до предельно допустимых значений во всём нормируемом частотном диапазоне (рис. 7).

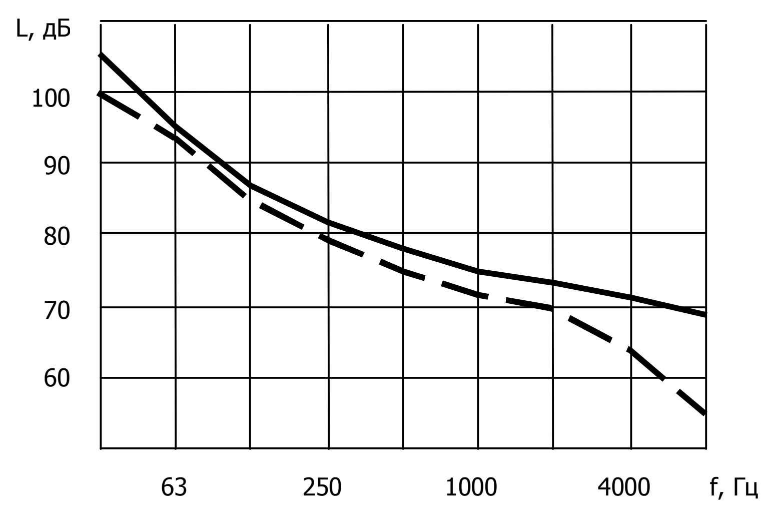


Рис. 7. Спектры шума в рабочей зоне на участке после установки системы шумозащиты

Библиографический список

1. Шамшура, С. А. Совершенствование методов расчёта виброакустических характеристик процесса виброударного упрочнения деталей на однокоординатных станках с целью обеспечения промышленной безопасности: монография / С. А. Шамшура, А. Н. Чукарин. — Ростов-на-Дону: Изд. центр Донск. гос. техн. ун-та, 2007. — 108 с.

Материал поступил в редакцию 20.11.2011.

References

1. Shamshura, S. A. Sovershenstvovanie metodov raschyota vibroakusticheskix xarakteristik processa vibroudarnogo uprochneniya detalej na odnokoordinatny`x stankax s cel`yu obespecheniya promy`shlennoj bezopasnosti: monografiya / S. A. Shamshura, A. N. Chukarin. — Rostov-na-Donu: Izd. centr Donsk. gos. texn. un-ta, 2007. — 108 s. — In Russian.

CALCULATION AND DESIGN PROCEDURE OF VIBRO-SHOCK HARDENING BED GUARD FOR LONG PIECES

M. E. Popov, V. P. Zharov
(Don State Technical University)

The noise enclosure design for the vibro-shock hardening bed of the helicopter longerons is considered. The noise abatement performance in the operating space is shown.
Keywords: *calculation procedure, design procedure, calculations of guard, guard designing.*

УДК 631.354-530

Принцип минимакса в теории и практике оптимального проектирования приводов современных зернокомбайнов

В. В. Радин
(Донской государственный технический университет)

Поставлена и решена задача оптимального выбора конструктивных параметров элементов приводов зерноуборочных комбайнов, когда эти элементы реализуются с помощью клиноремённых и гидравлических передач. Для этого использован принцип минимакса, реализованный с помощью метода оптимального проектирования параметров динамических систем в пространстве состояний под действием переменных нагрузок. Для формирования пространства состояний использована ранее полученная автором теоретическая модель динамической системы привода комбайна с нелинейными неголономными связями первого порядка.
Ключевые слова: *динамика привода зернокомбайна, нелинейная неголономная связь первого порядка, метод наискорейшего спуска, оптимальное проектирование.*

Введение. CALS-технологии, стремительно развивающиеся в мировом комбайностроении, требуют так выбирать параметры отдельных элементов приводов технологических машин, чтобы обеспечивался минимум максимальных динамических нагрузок на рабочих органах. Предлагаемые ниже метод и алгоритм оптимизации параметров приводов зерноуборочных комбайнов на основе принципа минимакса являются актуальными и могут быть полезными для соответствующих конструкторских организаций.

Постановка задачи. Рассматривается четырёхмассовая динамическая модель привода зерноуборочного комбайна (рис.) с клиноремёнными и гидравлическими передачами. Приведённые функции передач β_h, $h=\overline{1,3}$, представлены в данной модели как нелинейные неголономные связи первого порядка. Уравнения основного движения четырёхмассовой системы построены по методике, представленной в работе [1] и применимой к сколь угодно сложному приводу зерноуборочного комбайна.

Пространство состояний динамической системы, адекватное реальной нагруженности проектируемого привода, описывается реакциями $\mathbf{R}_j(\mathbf{z})$ неголономных связей. Пусть $\underset{j\in[0;N]}{\mathbf{R}_j}(\mathbf{z})$ — вектор-функции, заданные и непрерывно дифференцируемые на некотором открытом множестве

$$\Omega' \subset E_n ,$$

где E_n — евклидово пространство.

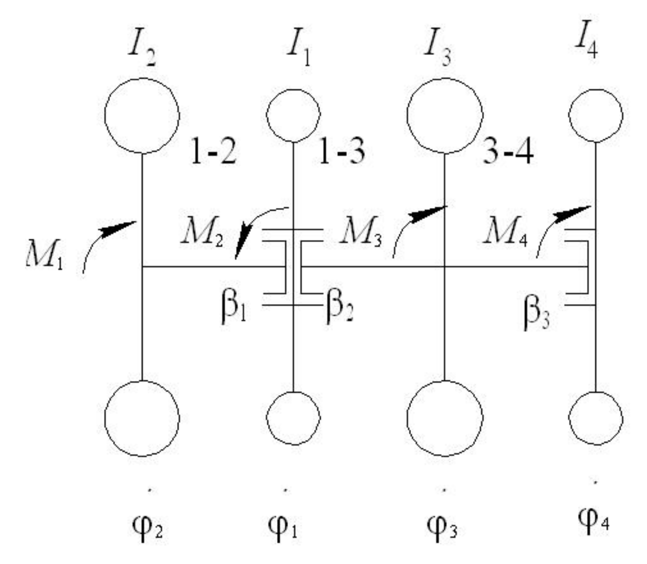
Предположим также, что нам задано выпуклое замкнутое ограниченное множество

$$\Omega \subset \Omega' ,$$

представляющее собой максимальные динамические нагрузки на элементах кинематических трансляторов проектируемого или модернизируемого комбайна. Уравнения основного движения системы выделенных роторных масс этого комбайна, изображённые на рисунке, запишутся в нормальной форме уравнений Коши следующим образом:

$$\left.\begin{aligned}\dot{\mathbf{z}}(t) &= \mathbf{f}(t,\mathbf{z}(t),\mathbf{b})\\ \mathbf{z}(0) &= \mathbf{z}^0\end{aligned}\right\}, 0 \le t \le T_k, \tag{1}$$

где $\mathbf{z}(t) = \left[\dot{\varphi}_1(t) \quad \dot{\varphi}_2(t) \quad \dot{\varphi}_3(t) \quad \dot{\varphi}_4(t)\right]^T$ — вектор переменных состояния динамической системы (см. рис.); T — символ транспонирования вектора состояния; T_k — время наблюдения; **b** — вектор переменных проектирования, например $\mathbf{b} = \left[R_h \quad S_h \quad E_h \quad I_i\right]^T$, $h = \overline{\mu+1,n}$; $i = \overline{1,n}$; $n = 4$; $\mu = 1$; R_h, S_h, E_h — параметры клиноремённых и гидравлических передач приводов проектируемого комбайна, определяющие невосполнимое отставание ведомых элементов от ведущих в h-м контуре; I_i — приведённые к соответствующим валам моменты инерции выделенных в динамической схеме масс (см. рис.) относительно их осей вращения; $\mathbf{f}(t,\mathbf{z}(t),\mathbf{b})$ — вектор правых частей дифференциальных уравнений (1); $\mathbf{z}^0$ — вектор начальных условий.



Динамическая модель привода комбайна: $\dot{\varphi}_1$, $\dot{\varphi}_2$, $\dot{\varphi}_3$, $\dot{\varphi}_4$ — угловые скорости соответственно двигателя, ведущих колёс комбайна, главного контрпривода, молотильного барабана; I_i — приведённые моменты инерции соответствующих элементов приводов; M_i — приведённые обобщённые силы на соответствующих валах; β_h — приведённые функции передач как связей

Полагаем теперь, что самым энергоёмким рабочим органом зерноуборочного комбайна является молотильный барабан, и обозначаем через $\dot{\varphi}_0$ его оптимальную угловую скорость, обеспечивающую наилучшее качество выполнения техпроцесса.

Задача минимакса будет состоять в том, чтобы вектор **b** из пространства переменных проектирования был выбран таким образом, чтобы обеспечить минимум максимальных вариаций:

$$\max\left|\dot{\varphi}_4(t,\mathbf{b}) - \dot{\varphi}_0\right| \Rightarrow \min, \quad t \in \left[0, T_k\right], \tag{2}$$

где $\dot{\varphi}_4(t,\mathbf{b})$ — текущая угловая скорость молотильного барабана.

Если принять $\mathbf{f}_0(t,\mathbf{b},\mathbf{z}) = |\dot{\varphi}_4 - \dot{\varphi}_0|$ и $\psi_0 = \max \mathbf{f}_0(t,\mathbf{b},\mathbf{z})$ в момент времени $t \in [0,T_k]$, то задача (2) конкретизируется:

$$\min\max \mathbf{f}_0(t,\mathbf{b}^*,\mathbf{z}) = \min\psi_0, \quad t \in [0,T_k], \tag{3}$$

Вычисление $\max \mathbf{f}_0(t,\mathbf{b},\mathbf{z})$ заменяется точной верхней границей $\bar{\psi}_0 = b_{14}$, которая определяется соотношением

$$|\dot{\varphi}_4(t) - \dot{\varphi}_0| \le b_{14}, \quad t \in [0,T_k]. \tag{4}$$

Тогда задача (2) сформулируется следующим образом.

Требуется определить

$$\min\bar{\psi}_0 \tag{5}$$

при ограничениях

$$|\dot{\varphi}_4(t,\mathbf{b}) - \dot{\varphi}_0| \le b_{14}, \quad t \in [0,T_k] \tag{6}$$

$$b^L \le b_i \le b^V, \; i = \overline{1,13}, \tag{7}$$

где b^L, b^V — наименьшее и наибольшее значение переменных вектора проектирования.

Для данного проекта в соответствии со схемой (см. рис.) и формулой (1) максимальное число переменных проектирования равно 13.

Для решения поставленной задачи (5) с ограничениями (6) и (7) используем методику оптимального проектирования параметров динамических систем в пространстве состояний под действием нестационарных нагрузок [2].

Заменяем ограничение (6) интегральным ограничением вида:

$$\psi = \int_0^{T_k} \langle \mathbf{f}_0(t,\mathbf{z},\mathbf{b}) - b_{14} \rangle dt = 0, \tag{8}$$

где подынтегральная функция определяется соотношением

$$\langle \mathbf{f}_0(t,\mathbf{z},\mathbf{b}) - b_{14} \rangle = \begin{cases} \mathbf{f}(t,\mathbf{z},\mathbf{b}) - b_{14}, & \text{если } \mathbf{f}_0(t,\mathbf{z},\mathbf{b}) - b_{14} > 0 \\ 0, & \text{если } \mathbf{f}_0(t,\mathbf{z},\mathbf{b}) - b_{14} \le 0 \end{cases} \tag{9}$$

Если интегральное ограничение (8) в ходе реализации метода наискорейшего спуска не выполняется, вводится в рассмотрение сопряжённая система дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} &\dot{\boldsymbol{\lambda}} + \frac{\partial \mathbf{f}^T}{\partial \mathbf{z}} \boldsymbol{\lambda} = \operatorname{sign}(\langle f_0 - b_{14} + \varepsilon \rangle) \frac{\partial \mathbf{f}^T}{\partial \mathbf{z}} \\ &\boldsymbol{\lambda}(T_k) = 0 \end{aligned} \right\}, \tag{10}$$

где $\boldsymbol{\lambda}(t)$ — вектор сопряжённых переменных, равный

$$\boldsymbol{\lambda}(t) = [\lambda_1(t) \quad \lambda_2(t) \quad \lambda_3(t) \quad \lambda_4(t)]^T, \tag{11}$$

$\dfrac{\partial \mathbf{f}_0^T}{\partial \mathbf{z}}$ — матрица Якоби для вектора правых частей системы дифференциальных уравнений (1); $\dfrac{\partial \mathbf{f}_0}{\partial \mathbf{z}} = \left[0 \quad 0 \quad 0 \quad \text{sign}\left(\dot{\varphi}_4(t) - \dot{\varphi}_0(t)\right)\right]^T$, так как $f_0 = \left|\dot{\varphi}_4(t, \mathbf{z}, \mathbf{b}) - \dot{\varphi}_0\right|$; ε — ε-активные ограничения, вводимые для получения устойчивых коэффициентов чувствительности, которые вычисляются, когда в вектор проектирования включена и точная верхняя граница b_{14}

$$\overline{\mathbf{b}} = \left[\mathbf{b}^T \quad b_{14}\right]^T,$$

а таблица коэффициентов чувствительности будет включать производную $\dfrac{\partial \psi}{\partial b_{14}}$:

$$\tilde{l} = \left[l^T \quad -\int_0^{T_k} \text{sign}\left\langle f_0 - b_{14} + \varepsilon \right\rangle dt \right]^T. \tag{12}$$

Конкретная система дифференциальных уравнений основного движения (см. рис.) представляется следующим образом:

$$\left.\begin{aligned}
&\ddot{\varphi}_1 = f_1(\mathbf{b},\mathbf{z},t) = \left[\nu_{11}(\mathbf{b},\mathbf{z},t) + \nu_{12}(\mathbf{b},\mathbf{z},t)\, g_{12}(\mathbf{b},\mathbf{z},t) + \nu_{13}(\mathbf{b},\mathbf{z},t)\, g_{22}(\mathbf{b},\mathbf{z},t) + \right.\\
&\left. + \nu_{14}(\mathbf{b},\mathbf{z},t)\, g_{32}(\mathbf{b},\mathbf{z},t)\right] \Big/ \left[1 - \nu_{12}(\mathbf{b},\mathbf{z},t)\, g_{11}(\mathbf{b},\mathbf{z},t) - \nu_{13}(\mathbf{b},\mathbf{z},t)\, g_{12}(\mathbf{b},\mathbf{z},t) - \right.\\
&\left. - \nu_{13}(\mathbf{b},\mathbf{z},t)\, g_{21}(\mathbf{b},\mathbf{z},t) - g_{31}(\mathbf{b},\mathbf{z},t)\right]\\
&\ddot{\varphi}_2 = g_{11}(\mathbf{b},\mathbf{z},t)\, f_1(\mathbf{b},\mathbf{z},t) + g_{12}(\mathbf{b},\mathbf{z},t)\\
&\ddot{\varphi}_3 = g_{21}(\mathbf{b},\mathbf{z},t)\, f_1(\mathbf{b},\mathbf{z},t) + g_{22}(\mathbf{b},\mathbf{z},t)\\
&\ddot{\varphi}_4 = g_{31}(\mathbf{b},\mathbf{z},t)\, f_1(\mathbf{b},\mathbf{z},t) + g_{32}(\mathbf{b},\mathbf{z},t)
\end{aligned}\right\} \tag{13}$$

В системе нелинейных дифференциальных уравнений (13) принято:

$$g_{11} = -\frac{C_{11}}{C_{12}}; \qquad g_{12} = -\frac{\dot{j}_{12} F_2 \dot{\varphi}_1}{C_{12}};$$

$$g_{21} = \frac{C_{31}C_{24} - C_{21}C_{34}}{\Delta\lambda}; \quad g_{22} = \frac{q_2 C_{34} - q_3 C_{24}}{\Delta\lambda};$$

$$g_{31} = \frac{C_{21}C_{33} - C_{31}C_{23}}{\Delta\lambda}; \quad g_{32} = \frac{q_2 C_{23} - q_2 C_{33}}{\Delta\lambda};$$

$$\Delta\lambda = C_{23}C_{34} - C_{33}C_{24};$$

$$\nu_{11} = \left(M_1 + C_{11}\delta_{12} + C_{21}\delta_{21} + C_{31}\delta_{33}\right) / I_1;$$

$$\nu_{12} = C_{11}\delta_{11} / I_1; \quad \nu_{13} = \left(C_{23}\delta_{23} + C_{31}\delta_{31}\right) / I_1;$$

$$\nu_{14} = \left(C_{21}\delta_{22} + C_{31}\delta_{32}\right) / I_1;$$

$$q_2 = -j_{13} A_3 \left[\dot{F}_3 + j_{34}\left(1 - 2\varepsilon_4\right)\dot{F}_4\right]\dot{\varphi}_1;$$

$$q_3 = -j_{14}\left\{\left(1 - \varepsilon_4\right) A_3 \left[\dot{F}_4 + j_{34}\left(1 - 2\varepsilon_4\right)\dot{F}_4\right] + \left(1 - \varepsilon_4\right) A_4 \dot{F}_4\right\}\dot{\varphi}_1;$$

$$\delta_{11} = I_2 / C_{12}; \qquad \delta_{12} = M_2 / C_{12}; \qquad \delta_{21} = I_3\, C_{34} / \Delta\lambda;$$
$$\delta_{22} = -I_4 C_{33} / \Delta\lambda; \quad \delta_{31} = -I_3 C_{24} / \Delta\lambda; \quad \delta_{32} = I_4 C_{23} / \Delta\lambda;$$

$$\delta_{33} = \left(M_4 C_{23} - M_3 C_{24}\right) / \Delta\lambda; \quad \delta_{23} = \left(M_3 C_{34} - M_4 C_{33}\right) / \Delta\lambda;$$

C_{ij} — элементы матрицы C размером 3×4:

$$C = \begin{bmatrix} -j_{12}\left(1-\varepsilon_2\right) & 1 + j_{12} A_3 B_2 \dot{\varphi}_1 & 0 & 0 \\ -j_{13}\left(1-\varepsilon_3\right) & 0 & 1 + 2 j_{13} A_3 B_3 \dot{\varphi}_1 \dot{\varphi}_3 & 2 j_{13} j_{14} A_3 B_4 \left(1 - 2\varepsilon_4\right) \dot{\varphi}_1 \dot{\varphi}_4 \\ -j_{14}\left(1-\varepsilon_4\right) & 0 & 2 j_{14} A_3 B_3 \dot{\varphi}_1 \dot{\varphi}_3 \left(1-\varepsilon_4\right) & 1 + 2 j_{14} B_{14} \dot{\varphi}_1 \dot{\varphi}_4 \left[A_4\left(1-\varepsilon_3\right) + j_{34} A_3 \left(1-\varepsilon_4\right)\right]\left(1 - 2\varepsilon_4\right) \end{bmatrix}$$

j_{lk} — расчётные передаточные отношения между осями валов l-го и k-го элементов модели (см. рис.); ε_l — функции невосполнимого отставания k-го элемента модели от l-го.

В настоящем исследовании принята линейная зависимость функций ε_l от нагрузки M_l на l-м валу: $\varepsilon_l = A_l M_l$.

Крутящие моменты на валах привода комбайна, входящие в систему (13), определяются выражениями:

$$M_2 = F_2 + F_{M_2} + B_2 \dot{\varphi}_2;$$
$$M_3 = F_3 + F_{M_3} + B_3 \dot{\varphi}_3^2;$$
$$M_4 = F_4 + F_{M_4} + B_4 \dot{\varphi}_4^2,$$

где F_l — составляющие крутящих моментов от сил полезного сопротивления; F_{M_l} — составляющие крутящих моментов от сил вредного сопротивления; B_l — коэффициенты, определяющие составляющие крутящих моментов на валах, пропорциональные квадратам угловых скоростей этих валов.

В свою очередь, составляющие крутящих моментов F_l распределены в пространстве состояния рассматриваемой системы по фазе воздействия, которую можно оценить величиной чистого (транспортного) запаздывания τ_l следующими соотношениями:

$$F_2 = C + K_2 q\left(t - \tau_2\right);$$
$$F_3 = \sum_{i=1}^{4} K_{3i} q\left(t - \tau_{3i}\right);$$
$$F_4 = K_4 q\left(t - \tau_4\right);$$

$q(t)$ — подача хлебной массы, $C = \text{const}$.

Невыделенные элементы привода в данной модели приведены к валу главного контрпривода. Их число может быть любым. Однако адекватные пространства состояний привода комбайна генерируются восьмимассовой обобщённой динамической моделью [1]. Поэтому невыделенные в схеме элементы привода принимают значения:

$$i = \overline{1, 4}.$$

Коэффициенты K_l, $l = 2, 3, 4$, определяются соотношением:

$$K_l = \frac{\gamma_l M_{1cт} K_\phi}{q^* + K_0 q_0},$$

где γ_l — коэффициенты, характеризующие распределение внешних нагрузок по l-м компонентам схемы (см. рис.); q^* — расчётное значение подачи хлебной массы, определяемое техзаданием на проектирование; $M_{1ст}$ — крутящий момент двигателя в точке стыка регуляторной и корректорной ветвей внешней скоростной характеристики; K_ϕ, K_0 — моделирующие коэффициенты; q_0 — начальная средняя величина подачи хлебной массы.

Крутящий момент M_1, развиваемый двигателем комбайна, задаётся аппроксимацией внешней скоростной характеристики:

$$M_1 = \begin{cases} 0{,}5\sum_{i=0}^{2} a_i \dot{\varphi}_{1\min}^i, & \dot{\varphi}_1 < \dot{\varphi}_{1\min} \\ \sum_{i=0}^{2} a_i \dot{\varphi}_1^i, & \dot{\varphi}_{1\min} \le \dot{\varphi}_1 < \dot{\varphi}_{1ст} \\ \operatorname{tg}\alpha\left(\dot{\varphi}_{1\min} - \dot{\varphi}_1\right), & \dot{\varphi}_{1ст} \le \dot{\varphi}_1 \le \dot{\varphi}_{1\max} \\ 0, & \dot{\varphi}_1 > \dot{\varphi}_{1\max} \end{cases};$$

где $\dot{\varphi}_{1ст}$ — угловая скорость двигателя в точке стыка линейной и нелинейной частей внешней скоростной характеристики; a_i — коэффициенты аппроксимирующего многочлена нелинейной части внешней скоростной характеристики, определяемые методом наименьших квадратов; tg α — коэффициент статизма регулятора угловой скорости двигателя, задаваемый при выборе мощности двигателя в соответствии с техзаданием.

Уравнения нелинейных неголономных связей кинематических трансляторов в проекте представлены в следующей форме:

$$\left.\begin{aligned} \dot{\varphi}_2 &= j_{12}\left(1-\varepsilon_2\right)\dot{\varphi}_1 \\ \dot{\varphi}_3 &= j_{13}\left(1-\varepsilon_3\right)\dot{\varphi}_1 \\ \dot{\varphi}_4 &= j_{14}\left(1-\varepsilon_3\right)\left(1-\varepsilon_4\right)\dot{\varphi}_1 \end{aligned}\right\}.$$

Матрица Якоби $\frac{\partial f}{\partial z}$ вычисляется как производная сложной функции со многими переменными по следующей схеме:

$$\frac{\partial C}{\partial z} \to \frac{\partial M_i}{\partial z} \to \frac{\partial q}{\partial z} \to \frac{\partial \Delta\lambda}{\partial z} \to \frac{\partial q}{\partial z} \to \frac{\partial \delta}{\partial z} \to \frac{\partial \nu}{\partial z} \to \frac{\partial f}{\partial z}. \tag{14}$$

Далее вычисляем матрицы $\frac{\partial f}{\partial b}$. При вычислении этих матриц используется та же последовательность, что и в схеме (14).

В проекте принято:

$$\frac{\partial M_1}{\partial b} = \frac{\partial M_2}{\partial b} = \frac{\partial M_4}{\partial b} = 0; \quad \frac{\partial M_3}{\partial b} = -j_{34} M_4 \frac{\partial \varepsilon_4}{\partial b};$$

$$\frac{\partial \varepsilon_l}{\partial b} = M_l \frac{\partial A_l}{\partial b} + A_l \frac{\partial M_l}{\partial b}, \quad l = 2,3,4.$$

$$b = \begin{bmatrix} b_1 & b_2 & b_3 & b_4 & b_5 & b_6 & b_7 & b_8 & b_9 & b_{10} & b_{11} & b_{12} & b_{13} \end{bmatrix}^T,$$

$$\frac{\partial I_1}{\partial b} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T,$$

$$\frac{\partial I_2}{\partial b} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T,$$

$$\frac{\partial I_3}{\partial b} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}^T,$$

$$\frac{\partial I_4}{\partial b} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^T.$$

Выводы.

1. Метод наискорейшего спуска обеспечивает устойчивую сходимость решения поставленной задачи при использовании диагональной весовой матрицы переменных проектирования I_i, $i = \overline{10,13}$, следующего типа:

$$W^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 0 & 2 & 0 & 2 & 0 & 4 \end{bmatrix}^T.$$

2. Применение изложенной выше методики к оптимизации конструктивных параметров элементов привода зерноуборочного комбайна позволило установить, что минимальные динамические нагрузки в приводе достигаются при выборе следующих технических параметров:

– мощность двигателя комбайна — 250 л. с.

– приведённый к валу двигателя момент инерции привода комбайна с измельчителем соломы — $I_{пр} = 15,7$ кг $\cdot$ м^2.

– коэффициент статизма внешней скоростной характеристики двигателя 35,3.

– резонансные для основного движения частоты внешних возмущений со стороны подачи хлебной массы находятся в диапазоне 0,85—1,3 Гц.

Библиографический список

1. Радин, В. В. Динамика сложных неголономных систем на примере зерноуборочного комбайна / В. В. Радин, В. А. Бураков. — Ростов-на-Дону: РГАСХМ, 2003. — 150 с.

2. Хог, А. Прикладное оптимальное проектирование / А. Хог, Я. Арора. — Москва: Мир, 1983. — 487 с.

Материал поступил в редакцию 20.01.2012.

References

1. Radin, V. V. Dinamika slozhny`x negolonomny`x sistem na primere zernouborochnogo kombajna / V. V. Radin, V. A. Burakov. — Rostov-na-Donu: RGASXM, 2003. — 150 s. — In Russian.

2. Xog, A. Prikladnoe optimal`noe proektirovanie / A. Xog, Ya. Arora. — Moskva: Mir, 1983. — 487 s. — In Russian.

MINIMAX PRINCIPLE IN THEORY AND PRACTICE OF MODERN GRAIN COMBINE ACTUATOR OPTIMAL DESIGN

V. V. Radin
(Don State Technical University)

The problem on the design values optimal choice of the grain combine drive elements, when these elements are implemented through the V-belt and hydraulic transmissions, is set and solved. For this purpose the minimax principle, implemented through the method of the optimal design of the state-space dynamic system parameters under the alternating loads, is used. The author's previously generated theoretical model of the combine drive dynamic system with the nonlinear nonholonomic first-order constraint is used to form the state space.
Keywords: *combine drive dynamics, nonlinear nonholonomic first-order constraint, steepest-descent method, optimal design.*

УДК 621:531.3

Экспериментальные исследования шума модернизированного механизма поддержки прутка токарных прутковых автоматов

В. А. Финоченко
(Ростовский государственный университет путей сообщения),
И. В. Богуславский
(Донской государственный технический университет)

Приведены результаты измерения уровней шума от токарных прутковых автоматов с модернизированным механизмом поддержки прутка. Показано существенное снижение уровней шума, в результате чего оборудование стало удовлетворять требованиям санитарных норм.
Ключевые слова: *шум, прутковый автомат, измерения.*

Введение. Защита работников от воздействия вредных производственных факторов — актуальная проблема охраны труда. Анализ показывает, что источниками шума токарно-револьверных станков и прутковых токарных автоматов могут являться следующие элементы станка:

- приводные механизмы, зубчатые и ремённые передачи, подшипниковые узлы;
- корпусные и базовые детали;
- обрабатываемые заготовки и режущий инструмент;
- механизм поддержки прутка.

Если говорить о прутковых автоматах, то источником шума чаще всего является именно механизм поддержки прутка [2], и со снижения уровня шума этого механизма нужно начинать мероприятия по снижению уровня шума прутковых автоматов. Это определяет актуальность и практическую ценность проведённого исследования.

Описание экспериментов. Для проведения испытаний был использован разработанный авторами механизм малошумной поддержки прутка в направляющей трубе с демпфирующими втулками.

Экспериментальные исследования предложенной конструкции механизма поддержки прутка в лабораторных условиях включали два этапа:

– исследование динамических характеристик на вибростенде;
– исследование акустических характеристик.

Экспериментальные исследования динамических характеристик механизма поддержки прутка проводились на специальной установке, выполненной на базе вибростенда. Исследование акустических характеристик проводилось на имитаторе механизма поддержки прутка в условиях, соответствующих условиям работы на реальном станке.

1. Исследование динамических характеристик механизма поддержки прутка. Экспериментальные исследования динамических характеристик механизма поддержки прутка проводились на специальной установке (рис. 1), выполненной на базе вибростенда, который являлся источником синусоидальных колебаний с возможностью регулировки амплитуды возбуждения в пределах 0—8 мм.

В связи с ограничением массы подвижной системы вибростенда в качестве объекта исследования был выбран механизм поддержки для прутка ⌀25 мм. При проектировании приспособления к вибростенду учитывалось, что оно должно обеспечить условия зацепления втулок, подобные реальной конструкции, а также что вес его не должен превышать 50 Н.

Поэтому испытаниям подвергался отрезок механизма. Приспособление состоит из опорной рамки 1, захватов и двух втулок. Кронштейны вместе со шкивами крепятся к корпусу вибростенда. Динамическая характеристика механизма поддержки прутка исследовалась при постоянной

амплитуде колебаний стола вибростенда, равной 4 мм, и при различных частотах колебаний стола в пределах 30—105 Гц (через каждые 10 Гц). На каждой из частот определялся уровень виброскорости, замеренный на металлической части втулки и на малых диаметрах пружин переменного диаметра. При измерениях использовался измеритель шума и вибрации ПИ-6 и вибродатчик Д-13.

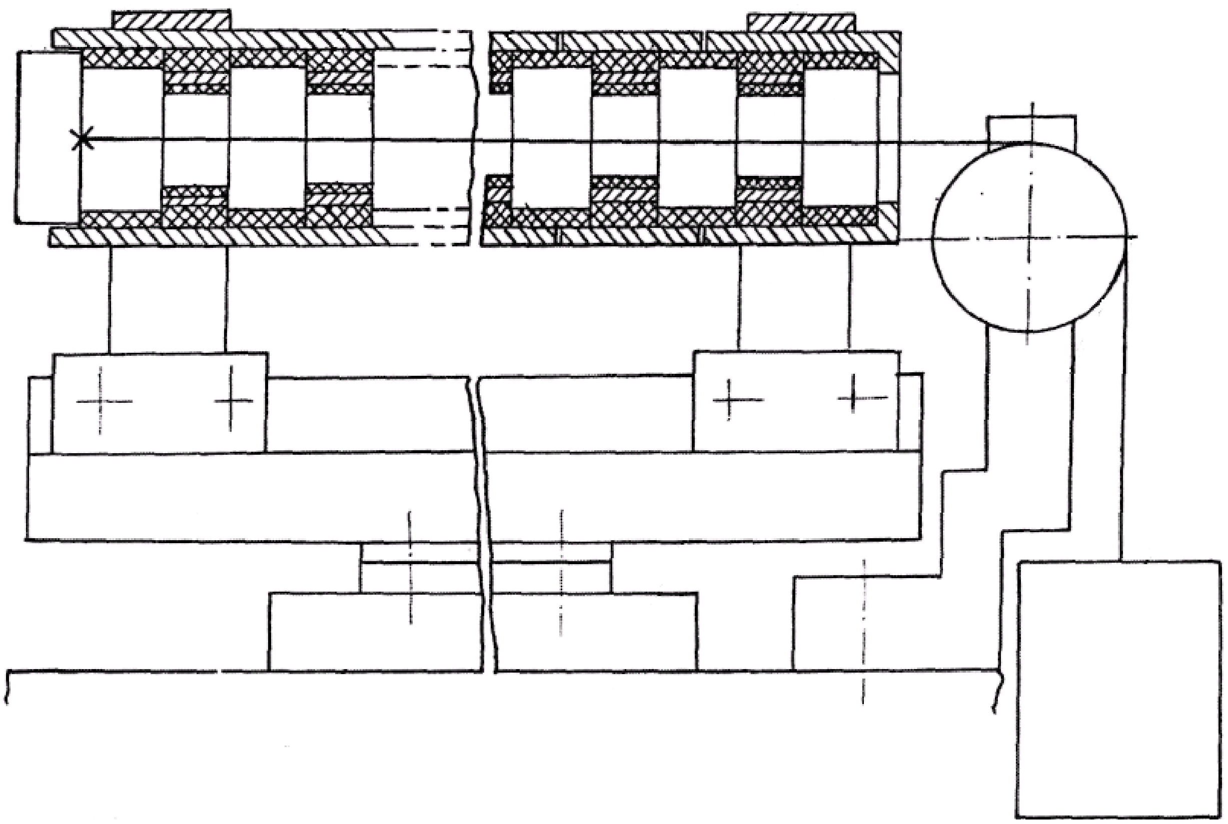


Рис. 1. Стенд для определения динамических характеристик механизма поддержки прутка

Уровни виброскорости разработанного механизма поддержки прутка существенно ниже, чем у пружин переменного диаметра (рис. 2). Смещение резонансного пика в область 50 Гц не ухудшает динамических характеристик нового механизма. Минимальная жёсткость и, следовательно, максимальное ослабление вибраций наблюдается у предлагаемой конструкции механизма поддержки.

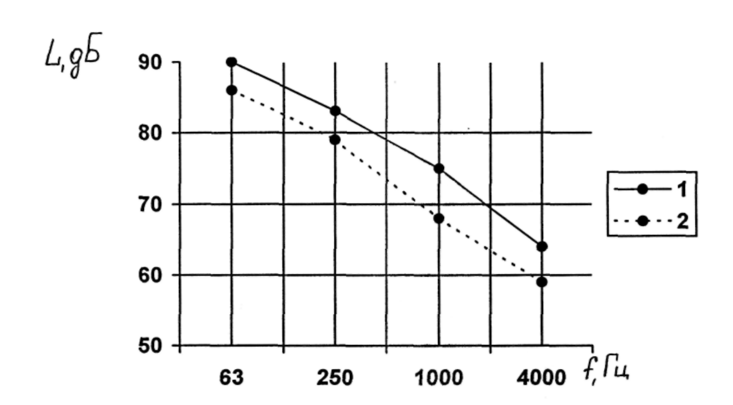


Рис. 2. Уровни шума: 1 — механизма с пружиной переменного диаметра; 2 — механизма демпфирующих втулок

2. Исследование шумовых характеристик механизма поддержки прутка в лабораторных условиях. Лабораторный стенд (рис. 3) был изготовлен таким образом, чтобы акустические условия при работе механизма поддержки прутка на стенде соответствовали условиям его работы на реальном станке. Для этого на бетонном основании устанавливались стойки, в которых закреплялся механизм поддержки прутка. Сам стенд находился в комнате, отделённой от приводной установки кирпичной перегородкой. В перегородке имеется отверстие для вывода вала двигателя постоянного тока с зазором 0,5 мм на диаметр. Таким образом, исключались помехи от приводной установки. На конце прутка нарезалась резьба, и пруток ввинчивался в резьбовое отверстие вала двигателя.

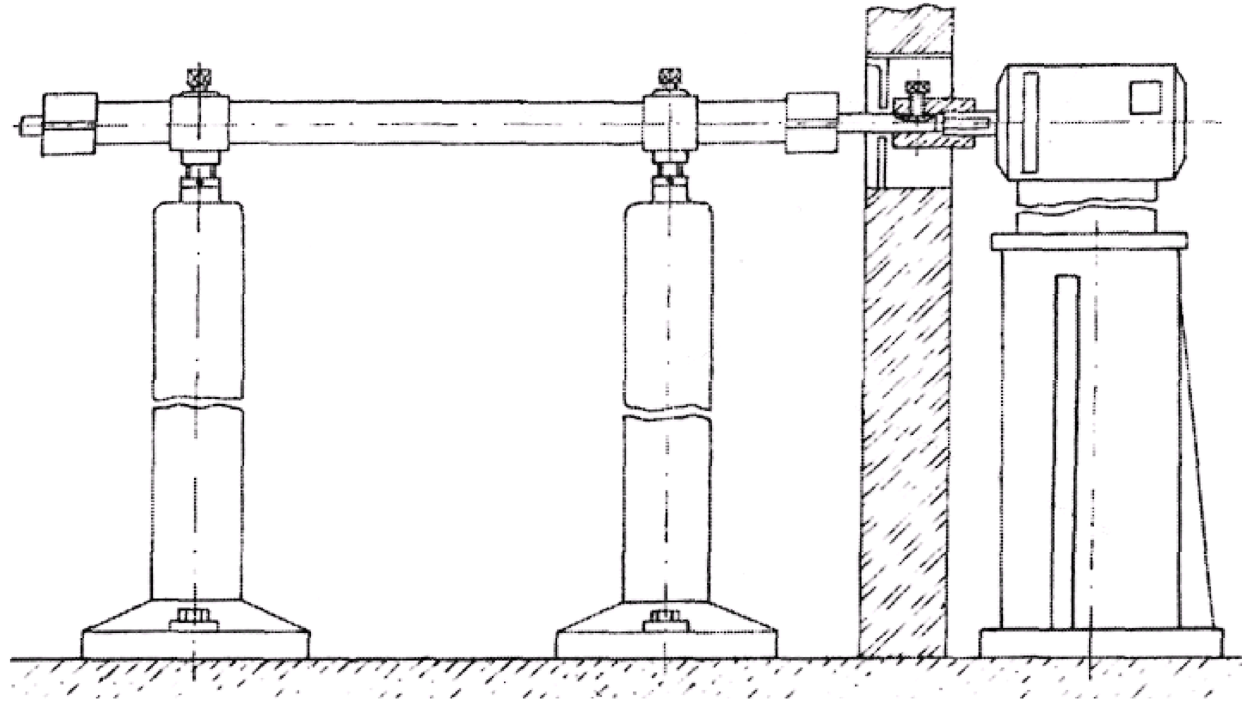


Рис. 3. Лабораторная установка для испытаний шума и вибрации механизма поддержки прутка

Регулирование частоты вращения вала двигателя производилось бесступенчато от приводной установки, построенной по системе «генератор — двигатель».

Замеры вибрации производились в пяти точках на корпусе механизма поддержки с шагом 300 мм.

После этого результаты замеров усреднялись. Кроме того, производились замеры вибрации на втулках, с помощью которых определялись коэффициенты передачи и коэффициенты потерь в пружине. Для этого корпус механизма поддержки прутка просверливался в нескольких местах, датчик устанавливался на втулку.

При сохранении прежнего характера зависимостей уровня шума от скорости вращения, размеров и формы прутка наблюдалось (рис. 4) некоторое (на 2—5 дБ) увеличение уровней шума и значительное (на 10—12 дБ) увеличение высокочастотных составляющих в спектре.

Объяснить это можно тем, что при введении демпфирующей прослойки увеличился зазор между втулкой и прутком, в связи с чем увеличилась доля энергии соударения, расходуемая на возбуждение прутка и составляющие в спектре шума, определяемые его собственными частотами звучания, а также передача энергии удара прутка на корпус с увеличением его составляющих в спектре шума. Помимо этого резиновая прослойка не оказывает никакого влияния на колебания и интенсивность звучания втулки, и увеличение жёсткости системы привело к увеличению собственных частот колебаний.

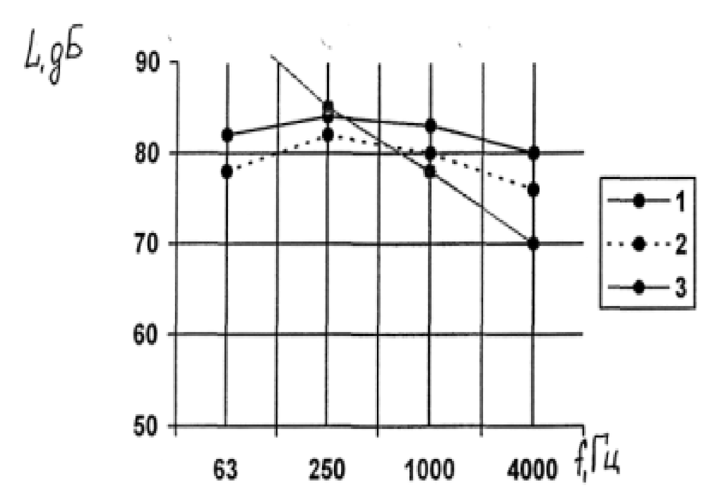


Рис. 4. Уровни шума серийного механизма: 1 — пруток под ключ 22; 2 — пруток круглый ⌀25 мм, 3 — предельный сектор

Были испытаны два варианта труб с такой конструкцией, втулки которых были изготовлены из наиболее распространённых пресс-материалов: карболита и волокнита (рис. 5).

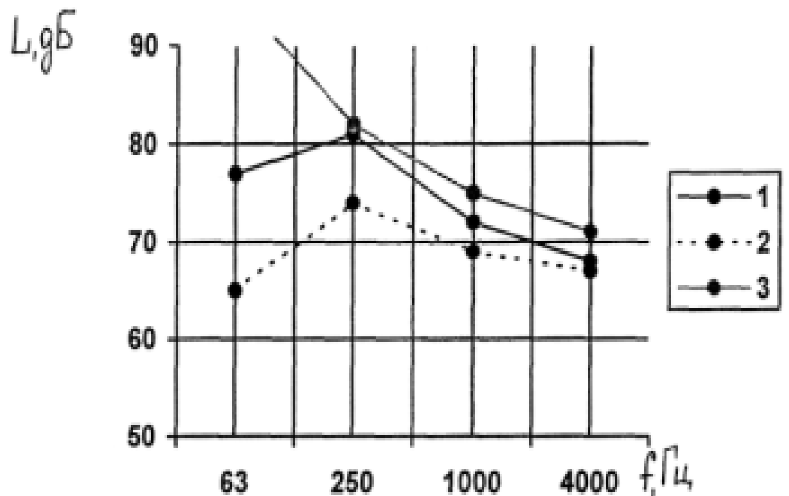


Рис. 5. Уровни шума механизма с волокнитовыми втулками: 1 — пруток шестигранный под ключ 22; 2 — пруток круглый ⌀25 мм, 3 — предельный сектор

Исследование шума этих вариантов подтвердило правильность сделанных выше выводов. Уровни шума понизились на 5—7 дБ по сравнению с трубой с втулками из стали и на 10—12 дБ по сравнению с трубой Горьковского автозавода с полиэтиленовыми элементами [3].

Улучшился характер спектра по сравнению с трубой со стальными втулками. Высокочастотные составляющие понизились по 8—10 дБ и с запасом укладываются в норматив [1] как с волокнитовыми, так и с карболитовыми втулками. Причём с прутком ⌀25 мм оба варианта обеспечивают выполнение требований норматива.

Результаты испытаний четырёх вариантов труб с втулками на минимальных диаметрах пружины показали высокую эффективность (табл. 1) данной конструкции и снижением шума направляющих труб с пружинами переменного диаметра.

Результаты замеров виброакустических характеристик механизма поддержки прутка с повышенной частотой вращения представлены в табл. 1 и табл. 3.

Учитывая необходимость обработки прутка на более высоких частотах вращения, а также возможности обработки квадратных и шестигранных прутков, были изготовлены механизмы поддержки прутка, у которых внутренний слой втулок выполнялся из волокнита и металлофторопла-

ста с полиуретаном. Замеры виброакустических характеристик этих механизмов поддержки производились при частоте вращения прутка 7000 об/мин и представлены в табл. 2—3.

Таблица 1

Уровни шума направляющей трубы с волокнитовыми втулками и круглым прутком при n = 7000 об/мин

Условия измерений	Уровни звукового давления (дБ) в октавных интервалах частот (Гц)									Общий уровень шума, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
В лабораторных условиях	65	67	82	75	79	71,5	73	73	61	79

Таблица 2

Виброакустические характеристики направляющей трубы с круглым прутком и втулками из металлофторопласта с полиуретаном при 7000 об/мин

Условия измерений	Уровни звукового давления (дБ) в октавных интервалах частот (Гц)									Общий уровень шума, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Шум	69		78	78	81	83	81	79	67	80
Виброускорение	80		78	75	76	80	86	88	86	92

Таблица 3

Виброакустические характеристики направляющей трубы с шестигранным прутком и втулками из металлофторопласта с полиуретаном при 7000 об/мин

Условия измерений	Уровни звукового давления (дБ) в октавных интервалах частот (Гц)									Уровень звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Уровни шума	72	73	82	73	78	84	84	82	80	90
Виброускорение	90	85	87	91	90	87	94	92	83	96

Исследование шума и вибрации двух вариантов направляющих труб подтвердили правильность сделанных выше выводов. Уровни шума экспериментальных образцов при столь высокой частоте вращения не превышают акустических характеристик труб Горьковского автозавода, которые испытывались на частотах вращения, не превышающих 3000—4000 об/мин.

Улучшился и характер спектра. Высокочастотные составляющие ниже среднечастотных на 4—7 дБ и укладываются в норматив (это касается труб и с волокнитовыми, и с металлофторопластовыми втулками с полиуретановым слоем).

Как видно из этих результатов, шумы станка без механизма поддержки и с экспериментальным механизмом поддержки прутка в частотном диапазоне 63—2000 Гц практически не отличаются.

Превышение норматива на частотах 500 и 1000 Гц составляет 2 дБ. Следует обратить внимание, что это превышение создаётся самим станком, а не предлагаемым механизмом поддержки. В то же время уровни шума серийного механизма поддержки прутка на 7—9 дБ выше, и превышение норматива в высокочастотной части спектра достигает 3 дБ.

Таким образом, предлагаемый механизм поддержки прутка обеспечивает снижение шума в токарных автоматах и токарно-револьверных станках.

Заключение. Экспериментальные исследования показали, что уровни шума разработанного механизма поддержки прутка на 7—10 дБ ниже, чем у малошумных направляющих труб, особенно при высоких частотах вращения прутка. Существенным преимуществом разработанного механизма поддержки прутка является возможность обработки многогранных прутков.

Библиографический список

1. СН 2.2.4/2.1.8562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. — Москва: Изд-во Госкомсанэпиднадзора России, 1996.

2. Ильяшук, Ю. М. Исследование особенностей шумообразования в направляющих трубах автоматов продольного сечения / Ю. М. Ильяшук, Д. Х. Слободник, З. В. Трандина // Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. — 1973. — Вып. 2. — С. 60—64.

3. Медведь, Р. А. Производственный шум и борьба с ним. Из опыта Горьковского автомобильного завода / Р. А. Медведь, Р. В. Соловьёв. — Горький: Волго-Вятское книжное изд-во. — 1977. — 127 с.

Материал поступил 14.10.2011.

References

1. SN 2.2.4/2.1.8562-96. Shum na rabochix mestax, v pomeshheniyax zhily`x, obshhestvenny`x zdanij i na territorii zhiloj zastrojki. — Moskva: Izd-vo Goskomsane`pidnadzora Rossii, 1996. — In Russian.

2. Il`yashuk, Yu. M. Issledovanie osobennostej shumoobrazovaniya v napravlyayushhix trubax avtomatov prodol`nogo secheniya / Yu. M. Il`yashuk, D. X. Slobodnik, Z. V. Trandina // Nauchny`e raboty` institutov oxrany` truda VCzSPS. — 1973. — Vy`p. 2. — S. 60—64. — In Russian.

3. Medved`, R. A. Proizvodstvenny`j shum i bor`ba s nim. Iz opy`ta Gor`kovskogo avtomobil`nogo zavoda / R. A. Medved`, R. V. Solov`yov. — Gor`kij: Volgo-Vyatskoe knizhnoe izd-vo. — 1977. — 127 s. — In Russian.

FIELD RESEARCH ON RETROFIT BUCKING BAR NOISE OF BAR MACHINES

V. A. Finochenko
(Rostov State Transport University),
I. V. Boguslavskiy
(Don State Technical University)

The bar machines with retrofit bucking bar noise-level measurements are resulted. It is shown that considerable noise abatement has caused satisfaction of the sanitary norm requirements for the equipment.
Keywords: *noise, bar machine, measurements.*

УДК 65.01:519.8

Оценка спроса на средства механизации инновационных технологий (на примере мобильного агрегата для механического фракционирования сока зелёного из листостебельной массы)

А. Д. Чистяков
(Донской государственный технический университет)

Приведена оценка спроса на новый для рынка продукт, обладающий полезностью, привлекательной и ранее труднодоступной для потребителя. Оценка спроса получена на основе исследования продаж традиционных для рынка продуктов.
Ключевые слова: *спрос, предложение, цена, эластичность спроса и предложения, полезность, привлекательность.*

Введение. Эффективность бизнеса при выходе на рынок с инновационным продуктом в значительной степени зависит от правильности оценки платёжеспособного спроса на этот продукт. Недооценка спроса оборачивается упущенной прибылью и потерей рыночной доли, а переоценка — убытками вплоть до потери бизнеса. Ситуация осложняется тем, что между решением о выходе на рынок с новым продуктом и началом насыщения дистрибутивной сети этим продуктом может пройти несколько лет — и рыночная конъюнктура значительно изменится.

Постановка задачи. В отечественной и мировой литературе уделяется значительное внимание оценке спроса (см. [1—4]), в том числе и на новую продукцию [5]. Однако, на наш взгляд, учёт внутренней структуры инновационного продукта, выводимого на рынок, позволит существенно уточнить ожидаемый спрос. Предлагаемый метод оценки спроса основывается на представлении о структуре полезности нового продукта и традиционном подходе к рынку, основанном на изучении эластичности предложения и спроса по цене.

Под инновационным прорывом в данной работе понимается возникновение технологических, экономических или организационных предпосылок, делающих возможным и необходимым появление на рынке нового продукта, у которого помимо традиционного набора есть дополнительная, например j-я, полезность — Ω_j, обладающая для потребителя: функциональной потенциальной выгодой ω_{jk}, обусловленной дополнительными функциональными возможностями выводимого на рынок продукта; экономической (затратной) потенциальной выгодой ω_{jl}, обеспечивающей снижение издержек при реализации полезности j; адаптационной потенциальной выгодой ω_{jm}, позволяющей вписывать новый продукт в технологические линии потребителя. Полезность Ω_j оценивается потребителем по наименьшей, худшей из потенциальных выгод ω_{jk}, ω_{jl}, ω_{jm}.

$$\Omega_j = \omega_{jk} \cup \omega_{jl} \cup \omega_{jm}. \quad (1)$$

Для оценки степени реализации полезности Ω_j в неком i-м продукте, обращающемся на рынке ($i \in I$, где I — перечень товаров, обращающихся на исследуемом рынке), введём понятие «сила полезности».

Сила ε_{ji} j-й полезности в i-м рыночном предложении будет рассчитываться как отношение реализованной в i-м рыночном продукте полезности к имеющемуся на рынке максимуму реализации этой j-й полезности. В соответствии с (1), сила ε_{ji} j-й полезности в i-м рыночном предложении будет конъюнкцией отношений: функциональных показателей K_{ji} j-й полезности к наивысшему функциональному показателю j-й полезности $\sup_i(K_j)$ рыночных предложений, обращающихся на рассматриваемом рынке; показателей экономичности (величины издержек реализации)

L_{ji} j-й полезности к наименьшему $\inf_i(L_j)$ из показателей экономичности продуктов, обращающихся на рынке; показателей адаптивности M_{ji} j-й полезности к наивысшему $\sup_i(M_j)$ из показателей адаптивности продуктов, обращающихся на рынке.

$$\varepsilon_{ji} = \frac{K_{ji}}{\sup_i\left(K_j\right)} \cup \frac{L_{ji}}{\inf_i\left(L_j\right)} \cup \frac{M_{ji}}{\sup_i\left(M_j\right)}. \quad (2)$$

Чтобы рассчитать привлекательность для потребителя μ_j j-й полезности, объёмы продаж q_{ji} каждого i-го продукта, обладающего j-й полезностью, умножим на силу ε_{ji} этой полезности и отнесём к объёму продаж Q на рассматриваемом рынке и в качестве оценки примем среднее значение.

$$\mu_j = \frac{\sum_i \frac{q_{ji}\varepsilon_{ji}}{Q}}{I}. \quad (3)$$

В качестве примера средства механизации инновационных технологий рассмотрим мобильную машину для отжима (фракционирования) сока зелёного из листостебельной массы сеяных и естественных трав для поточно-технологической линии производства протеинового концентрата для кормовых, а в перспективе и пищевых целей.

Согласно нашим исследованиям [6], производство белково-витаминных концентратов из сока зелёных растений с использованием мобильных средств механизации будет обходиться в 3—10 раз дешевле традиционных травяной, мясокостной и рыбной муки.

Однако для вывода на рынок нового конкурентоспособного средства механизации необходимо спроектировать его в соответствии со спросом, определяющим ценовой диапазон и объём предложения.

Предлагаемое решение. При оценке спроса $g_{j(i+1)}$ на новый $(i + 1)$-й продукт обладающий j-й полезностью, будем исходить из следующих положений:

– ценовая эластичность $K_{сп}$ спроса на рассматриваемом рынке обладает значительной стабильностью, сохраняя свои значения и во времени и по отношению к разным рыночным продуктам;

– ценовая эластичность $K_{пр}$ предложения в рассматриваемой отрасли также обладает значительной стабильностью, сохраняя свои значения и во времени и по отношению к разным отраслевым продуктам;

– минимальная цена $P_j^{\min}$ продукта, реализуемого на рассматриваемом рынке, формируется при пересечении графиков зависимостей предложения отрасли от цены и спроса рынка от цены при доминировании интересов потребителя (см. рис. 1);

– максимальная цена $P_j^{\max}$ продукта j-й полезности, реализуемого на рассматриваемом рынке, формируется при пересечении графиков зависимостей предложения отрасли от цены и спроса рынка от цены при доминировании интересов производителя (см. рис. 1);

– доминированием интересов будем считать такую ситуацию, при которой разница рыночной цены продукта, обеспечивающей минимальную выгоду потребителю, и издержек производителя распределяется посредством установки продажных цен в отношении 4 : 1 в пользу доминанта (соотношение Парето).

Максимальную цену на новый $(i + 1)$-й продукт получим из известной на рынке максимальной цены $P_j^{\max}$ и привлекательности j-й полезности для потребителя μ_j:

$$P_{j(i+1)}^{\max} = P_{ji}^{\max(1+\mu_j)}. \quad (4)$$

Зависимости $g_A(P)$ спроса от цены при доминировании интересов производителя и $g_B(P)$ спроса от цены при доминировании интересов потребителя получают при маркетинговых исследованиях рынка.

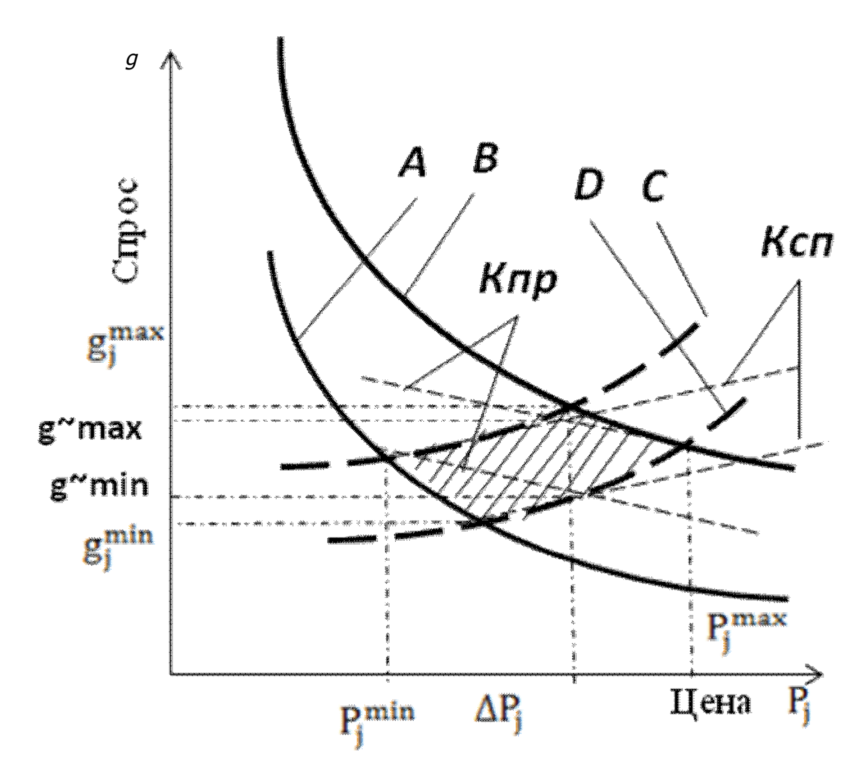


Рис. 1. Схема определения оценок $g^{\sim max}$ и $g^{\sim min}$ спроса на новый (i + 1)-й продукт обладающий j-й полезностью: P_j^{max} — максимально достижимая цена продукта j-й полезности на рассматриваемом рынке; P_j^{min} — минимальная цена продукта, реализуемого на рассматриваемом рынке; g_j^{max} — максимальный спрос на продукт j-й полезности при равновесной цене и доминировании интересов потребителя; g_j^{min} — минимальный спрос на продукт j-й полезности при равновесной цене и доминировании интересов производителя; A — зависимость спроса от цены при доминировании интересов производителя; B — зависимость спроса от цены при доминировании интересов потребителя; C — зависимость предложения от цены при доминировании интересов производителя; D — зависимость предложения от цены при доминировании интересов потребителя; $K_{сп}$ — ценовая эластичность спроса на рассматриваемом рынке; $K_{пр}$ — ценовая эластичность предложения в рассматриваемой отрасли

Для рынка технологического оборудования зависимости $g_A(P)$ и $g_B(P)$ спроса от цены будут иметь вид:

$$g_A(P) = \frac{A}{P^{\gamma}},$$
$$g_B(P) = \frac{B}{P^{\gamma}}. \tag{5}$$

Значение γ для рынка средств механизации сельского хозяйства по результатам наших исследований составляет 1,2. Рассчитать значения A и B при известных ценах и объёмах продаж не составляет труда.

Так, если в качестве ближайшего аналога и частично конкурента мобильной машины для отжима сока зелёного принять самоходные кормоуборочные комбайны, то по данным журнала «Аграрное обозрение» [7], из (5) получим:

$$g_A(P) = \left(5,86 \cdot 10^8\right) / P^{1,2},$$
$$g_B(P) = \left(1,42 \cdot 10^9\right) / P^{1,2}.$$

Зависимости $g_C(P)$ предложения от цены при доминировании интересов производителя и $g_D(P)$ предложения от цены при доминировании интересов потребителя получают при маркетинговых исследованиях отрасли.

Для отрасли машиностроения зависимости g_C (P) и g_D (P) предложения от цены будут иметь вид:

$$g_C\left(P\right)=CP^{\beta},$$
$$g_D\left(P\right)=DP^{\beta}. \quad (6)$$

Значение β для отрасли сельхозмашиностроения по результатам наших исследований составляет 1,8. Рассчитать значения C и D при известных ценах и объёмах предложений не составляет труда.

На основе данных [7], из (6) получаем уравнения для предложения:

$$g_C\left(P\right)=4,948\cdot 10^{-11}P^{1,8},$$
$$g_D\left(P\right)=8,774\cdot 10^{-10}P^{1,8}.$$

Графики спроса и предложения, построенные по данным [7], приведены на рис. 2.

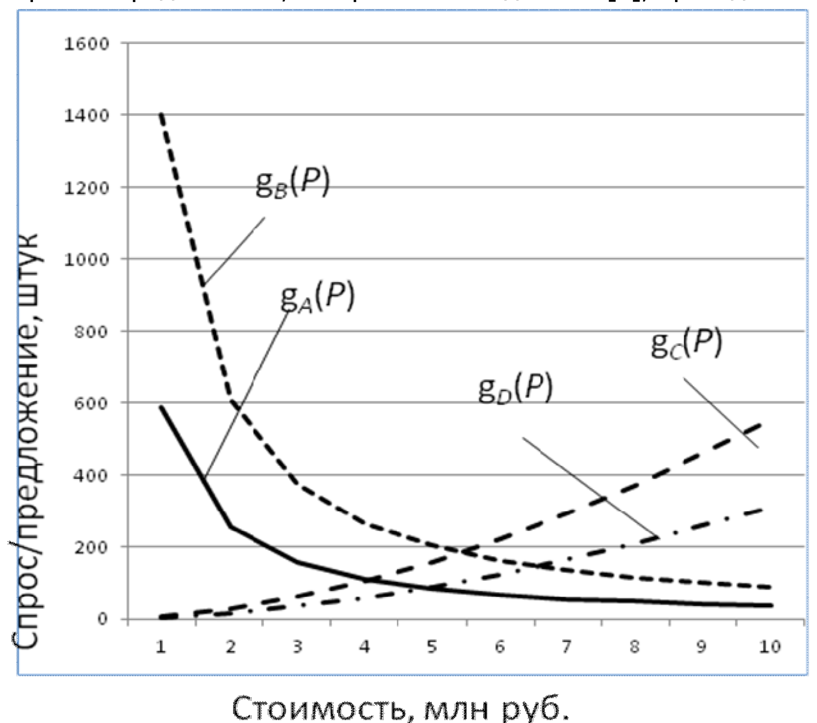


Рис. 2. График спроса и предложения самоходных кормоуборочных комбайнов

Оценку спроса $g^{\sim}_{j(i+1)}$ на новый (i + 1)-й продукт, обладающий j-й полезностью, представим в виде интервала {$g^{\sim\min}$, $g^{\sim\max}$}. Для аналога оцениваемой машины этот интервал в рублях составит {3 500 000, 6 200 000} (см. рис. 2).

Для оценки $g^{\sim\max}$ максимума спроса на (i + 1)-й продукт приравняем оценки $g^{\sim}$ на основе зависимости g_C (P) и эластичности предложения $K_{пр}$ и оценки $g^{\sim}$ на основе g_B (P) и эластичности спроса $K_{сп}$, выраженные через текущее изменение цены ΔP (см. рис. 1).

$$g_C\left(P_i^{\min}\right)+K_{пр}\Delta P=g_B\left(P_{i+1}^{\max}\right)-K_{сп}\left(P_{i+1}^{\max}-P_i^{\min}-\Delta P\right), \quad (7)$$

откуда получим текущее значение ΔP изменения цены, при котором достигается $g^{\sim\max}$:

$$\Delta P=\frac{g_C\left(P_i^{\min}\right)-g_B\left(P_{i+1}^{\max}\right)+K_{сп}P_{i+1}^{\max}-K_{сп}P_i^{\min}}{K_{сп}-K_{пр}}. \quad (8)$$

В нашем случае значение ΔP составит 1 750 000 рублей.

Рассчитаем значение $g^{\sim\max}$:

$$g^{\sim\max} = g_C\left(P_i^{\min}\right) + \frac{K_{пр}\left(g_C\left(P_i^{\min}\right) - g_B\left(P_{i+1}^{\max}\right) + K_{сп}P_i^{\min} + K_{сп}P_{i+1}^{\max}\right)}{K_{сп} - K_{пр}}. \quad (9)$$

Для самоходной машины для отжима сока зелёного $g^{\sim\max}$ составляет 100 штук, при цене до 5 250 000 рублей.

Аналогичным образом получим выражение для оценки $g^{\sim\min}$:

$$g^{\sim\min} = g_A\left(P_i^{\min}\right) + \frac{K_{сп}\left(g_D\left(P_{i+1}^{\max}\right) - g_A\left(P_i^{\min}\right) + K_{пр}P_{i+1}^{\max} - K_{пр}P_i^{\min}\right)}{K_{сп} + K_{пр}}. \quad (10)$$

Для самоходной машины для отжима сока зелёного $g^{\sim\min}$ составляет 20 штук, при цене 10 100 000 рублей.

Выводы. Искомая оценка $g^{\sim}_{j(i+1)}$ спроса на новый $(i + 1)$-й продукт, обладающий j-й полезностью, с высокой вероятностью будет принадлежать интервалу $\{g^{\sim\min}, g^{\sim\max}\}$. На основе оценок этого интервала несложно оценить интервал приемлемых цен, построить пессимистический, оптимистический и реалистический сценарии продвижения продукта на рынке.

Библиографический список

1. Клейнер, Г. Б. Многофакторные производственные функции с постоянными эластичностями предельной замены факторов / Г. Б. Клейнер, Д. И. Пионтковский // Экономика и математические методы. — 2000. — Т. 36, вып. 1. — С. 90—114.

2. Цуриков, А. В. Об одной модели потребительского выбора / А. В. Цуриков, В. И. Цуриков // Экономика и математические методы. — 2004. — Т. 40, вып. 3. — С. 110—114.

3. Deng, S. Joint Production and Pricing Decisions with Setup Costs and Capacity Constraints / S. Deng, C. A. Yano // Management Science. — 2006. — Vol. 52, No. 5. — P. 741—756.

4. Kim, J. G. Capturing Flexible Heterogeneous Utility Curves: A Bayesian Spline Approach / J. G. Kim, U. Menzefricke, F. M. Feinberg // Management Science. — 2007. — Vol. 53, No. 2. — P. 340—354.

5. Прасолов, А. В. Об одном методе определения спроса и цены на новую продукцию / А. В. Прасолов // Российский журнал менеджмента. — 2009. — Т. 7, № 3. — С. 45—60.

6. Чистяков, А. Д. Технология и оборудование для глубокой переработки листостебельной биомассы топинамбура и амаранта / А. Д. Чистяков, Н. И. Пройдак, А. А. Носов // Известия ТулГУ. — 2004. — Вып. 1. — (Проблемы сельскохозяйственного машиностроения). — С. 80—91.

7. Елисеев, А. Кто есть кто на российском рынке кормоуборочных комбайнов / А. Елисеев // Аграрное обозрение. — 2011. — № 3. — С. 10—19.

Материал поступил 10.10.2011.

References

1. Klejner, G. B. Mnogofaktorny`e proizvodstvenny`e funkcii s postoyanny`mi e`lastichnostyami predel`noj zameny` faktorov / G. B. Klejner, D. I. Piontkovskij // E`konomika i matematicheskie metody`. — 2000. — T. 36, vy`p. 1. — S. 90—114. — In Russian.

2. Czurikov, A. V. Ob odnoj modeli potrebitel`skogo vy`bora / A. V. Czurikov, V. I. Czurikov // E`konomika i matematicheskie metody`. — 2004. — T. 40, vy`p. 3. — S. 110—114. — In Russian.

3. Deng, S. Joint Production and Pricing Decisions with Setup Costs and Capacity Constraints / S. Deng, C. A. Yano // Management Science. — 2006. — Vol. 52, No. 5. — P. 741—756.

4. Kim, J. G. Capturing Flexible Heterogeneous Utility Curves: A Bayesian Spline Approach / J. G. Kim, U. Menzefricke, F. M. Feinberg // Management Science. — 2007. — Vol. 53, No. 2. — P. 340—354.

5. Prasolov, A. V. Ob odnom metode opredeleniya sprosa i ceny` na novuyu produkciyu / A. V. Prasolov // Rossijskij zhurnal menedzhmenta. — 2009. — T. 7, № 3. — S. 45—60. — In Russian.

6. Chistyakov, A. D. Texnologiya i oborudovanie dlya glubokoj pererabotki listostebel`noj biomas-sy` topinambura i amaranta / A. D. Chistyakov, N. I. Projdak, A. A. Nosov // Izvestiya TulGU. — 2004. — Vy`p. 1. — (Problemy` sel`skoxozyajstvennogo mashinostroeniya). — S. 80—91. — In Russian.

7. Eliseev, A. Kto est` kto na rossijskom ry`nke kormouborochny`x kombajnov / A. Eliseev // Agrarnoe obozrenie. — 2011. — № 3. — S. 10—19. — In Russian.

DEMAND EVALUATION OF MECHANICAL EQUIPMENT IN INNOVATION TECHNOLOGIES (AS EXAMPLIFIED BY MOBILE UNIT FOR GREEN PLANT SAP FRACTIONATION FROM HERBAGE)

A. D. Chistyakov
(Don State Technical University)

The demand evaluation of the new introduced to the market product with attractive but earlier hard-to-get utility, is given. The demand evaluation has been obtained through the marketing study of the products traditional for the market.
Keywords: *demand, offer, price, demand and supply elasticity, utility, appeal.*

УДК 621:531.3

Исследования демпфирующих характеристик труб лонжеронов для повышения точности расчётов спектров шума

С. А. Шамшура
(Донской государственный технический университет)

Приведены результаты исследования закономерностей формирования шумообразования при фрезеровании длинномерных изделий. Показано, что за счёт подбора коэффициентов потерь лонжерона и устройства опоры может быть достигнуто снижение уровней шума.
Ключевые слова: *шум, лонжероны, измерения.*

Введение. Результаты теоретических исследований показали, что снижение шума может быть достигнуто за счёт подбора коэффициентов потерь лонжерона и устройства опоры, располагаемой между кронштейнами. Цель экспериментов, результаты которых изложены ниже, заключалась в определении коэффициента потерь полого лонжерона, внутренняя поверхность которого демпфировалась различными способами: заполнялась мешками с песком, специальным резиновым рукавом, в который подавалось масло от гидростанции (давление рассчитывалось, исходя из жёсткости лонжерона) и от пневмосети, резиновыми шариками. Условия эксперимента соответствовали реальной установке лонжерона на станке и условиям крепления (рис. 1).

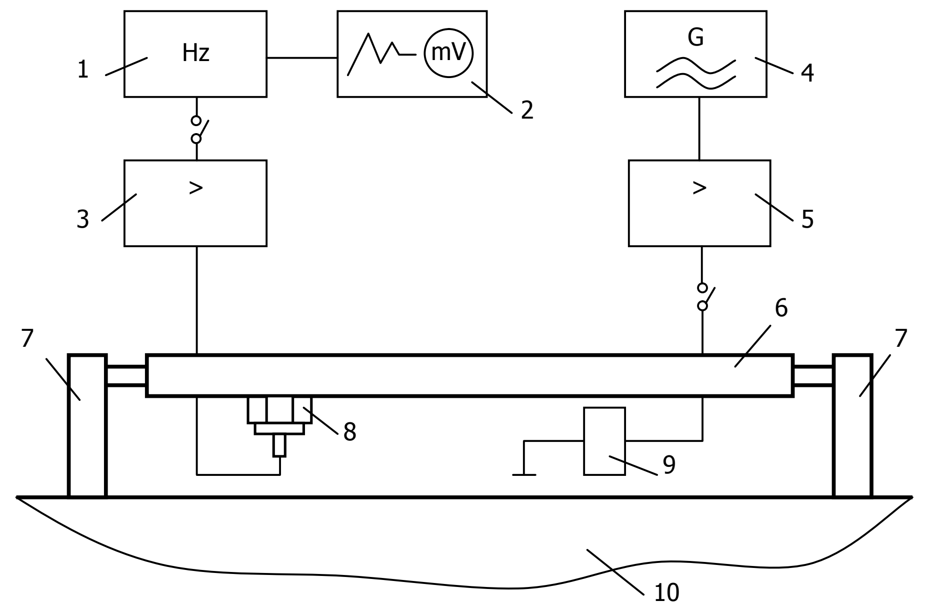


Рис. 1. Схема комплекса для определения коэффициентов потерь: 1 — анализатор; 2 — самописец; 3, 5 — усилители; 4 — генератор; 6 — лонжерон; 7 — стойки; 8 — вибродатчик; 9 — электромагнит; 10 — стол станка

Условно комплекс можно разделить на аппаратную и программную часть. Аппаратная часть делится, в свою очередь, на две части — возбуждение вибраций в исследуемом изделии и снятие и обработка сигналов виброакустической эмиссии.

Эксперимент заключается в следующем. С генератора звуковой частоты синусоидальный сигнал подаётся на усилитель мощности, а затем на специальный электромагнит, который возбуждает исследуемый объект на вынужденных и собственных частотах. Собственные частоты кон-

тролируются на анализаторе, работающем в режиме осциллографа. Необходимость создания синусоидальных колебаний объясняется требованиями применяемых методов исследования.

Аппроксимация функций методом наименьших квадратов. Эта часть комплекса создана на базе IBM PC и платы многоканального АЦП L305. На объекте исследования для регистрации ВАЭ были использованы пьезоакселерометры типа ДН-4-М1 для измерения виброускорения в 3 взаимоперпендикулярных направлениях. Датчик имеет следующие характеристики: коэффициент преобразования ускорения в напряжение $K_П$ = 1,0 мВ·с^2/м; частота поперечного резонанса $f_П$ = 14 кГц; частота установочного резонанса $f_У$ = 43 кГц.

Для усиления и согласования датчиков с АЦП применяли 4-канальный виброусилитель I 1002 (RTF), имеющий широкий частотный диапазон и большой выбор коэффициентов усиления как по напряжению, так и по заряду. Исходя из условий аналого-цифрового преобразования, сигнал, поступающий с вибродатчиков, помимо предварительного усиления должен подвергаться фильтрации типа Antialiasing filtration с предотвращением явления подмены частот для высокочастотной информации. Обратный сигнал подаётся на нормирующие усилители с целью подготовки его преобразования в цифровую форму с помощью АЦП L305.

Преобразование аналогового сигнала в цифровой и ввод его в ПЭВМ осуществляется с помощью АЦП L305. Плата L305 представляет собой устройство, функционирующее в составе ПЭВМ IBM PC и имеющее в своём составе ЦАП, многоканальный АЦП, а также порты для ввода и вывода цифровой информации. После АЦП сигнал в оцифрованном виде поступает на ПЭВМ. Оцифрованный сигнал проходит предварительную обработку, заключающуюся в его центрировании для устранения погрешности нуля измерительного тракта и цифровой фильтрации с целью компенсации АЧХ датчика. После этого сигнал подвергается «взвешиванию» с помощью функции Наттола для подавления эффектов, обусловленных наличием боковых лепестков в спектральных оценках вследствие конечности объёма выборки. Сигнал, прошедший обработку, преобразуется в частотную область с использованием алгоритмов быстрого преобразования Фурье.

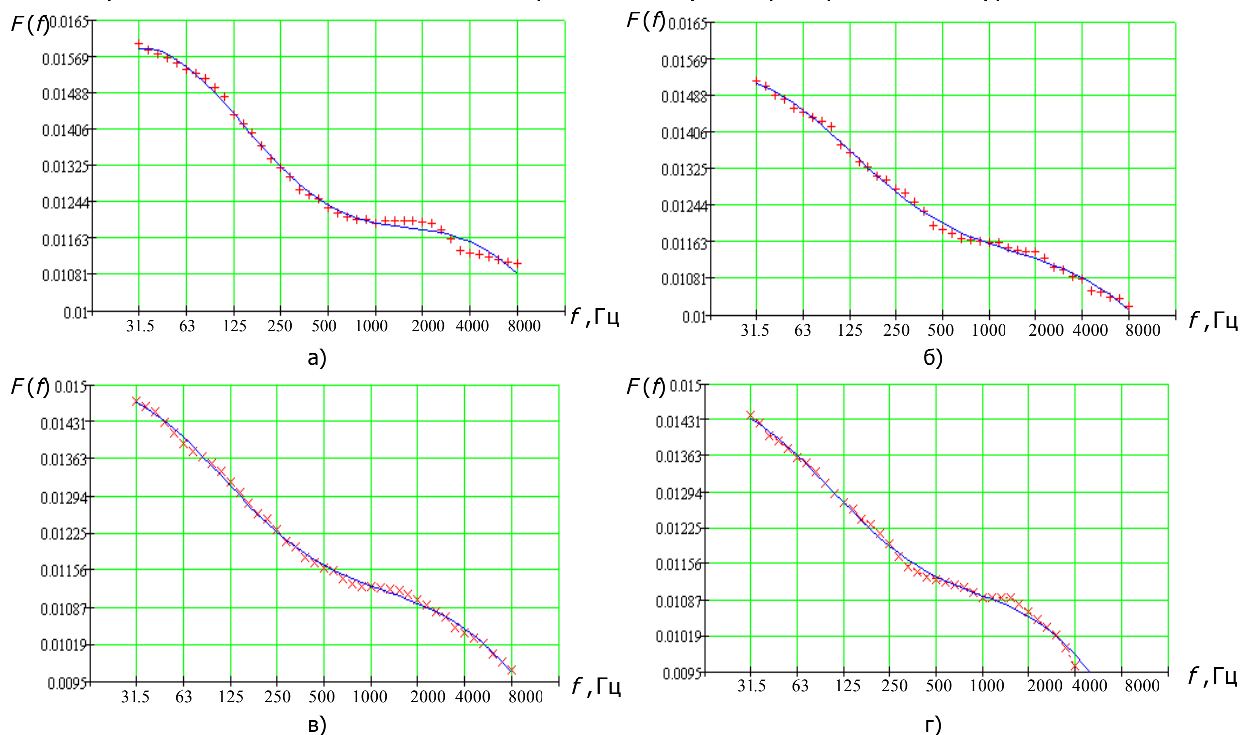


Рис. 2. Значения коэффициентов потерь колебательной энергии заготовок из алюминиевых сплавов замкнутого профиля при различной толщине стенки: а — 2 мм; б — 4 мм; в — 6 мм; г — 10 мм

Такая обработка сигнала может осуществляться с помощью прикладных математических пакетов (например, Mathcad) либо с помощью оригинального пакета прикладных программ, разработанных на кафедре «АПП» ДГТУ.

Коэффициенты потерь определяются по формуле:

$$\eta = \frac{1}{\pi n} \ln \frac{A_1}{A_n},$$

где n — количество колебаний на измеренном расстоянии; A_1 и A_n — амплитуда первого и последнего колебаний на измерительном расстоянии.

Испытаниям подвергались лонжероны из стали и алюминиевого сплава. Для возбуждения колебаний лонжеронов из алюминиевых сплавов на них крепились стальные пластины, масса которых составляет менее 1 % от массы лонжерона.

Результаты экспериментальных исследований частотно-зависимых коэффициентов потерь колебательной энергии и полученные на их основе регрессионные зависимости представлены на рис. 2 и 3.

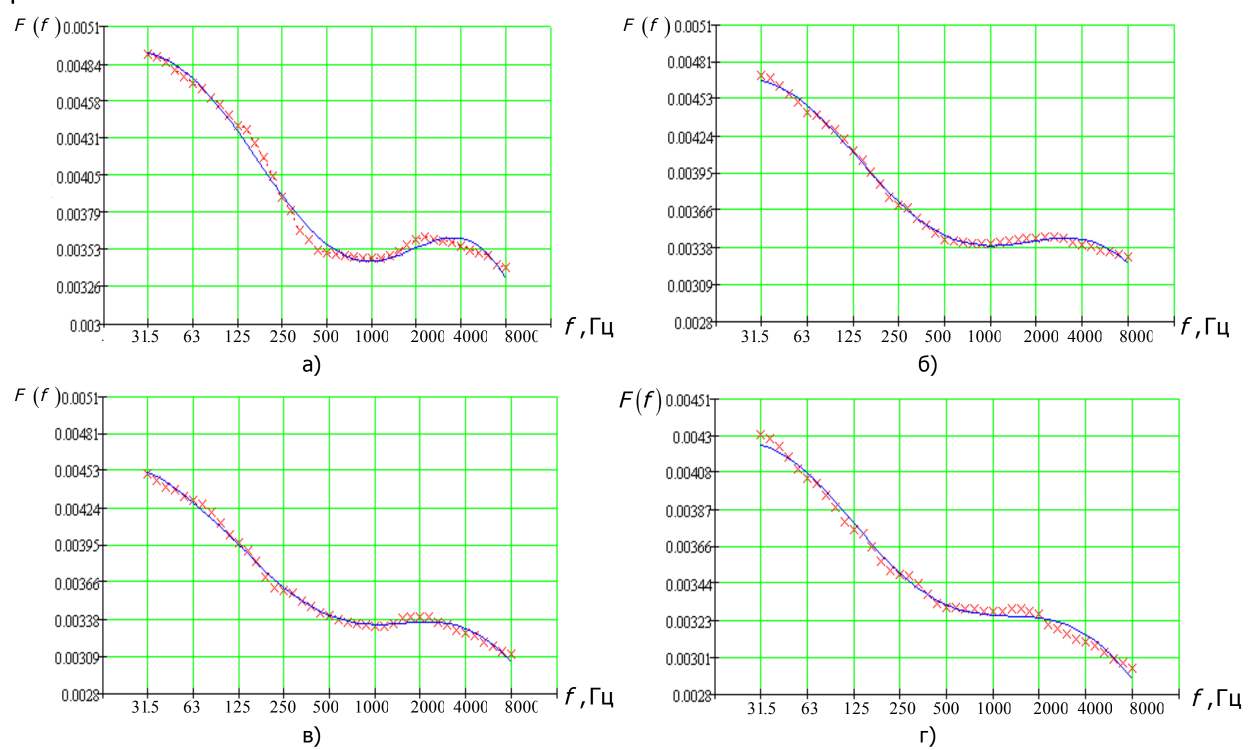


Рис. 3. Значения коэффициентов потерь колебательной энергии стальных заготовок замкнутого профиля при различной толщине стенки: а — 2 мм; б — 4 мм; в — 6 мм; г — 10 мм

Для обработки результатов эксперимента использовались средства прикладного математического пакета Mathcad, где было реализовано применение метода наименьших квадратов со следующим шаблоном аппроксимирующей функции:

$$\eta(f) = ae^{-b(\log_2 a - c)^2} + de^{-g(\log_2 a - k)} + h.$$

На основе математической обработки результатов эксперимента были построены графики функций, рассчитаны коэффициенты аппроксимации и получены регрессионные зависимости коэффициентов потерь колебательной энергии, представленные в табл. 1, для полых заготовок из стали и алюминиевых сплавов.

Сравнение теоретических и экспериментальных данных показало высокую сходимость значений во всём нормируемом диапазоне частот, что является главным критерием возможности

использовать полученные регрессионные зависимости для инженерных расчётов виброакустических характеристик подобных заготовок.

Результаты исследований лонжеронов с различными способами вибропоглощения представлены на рис. 4 и 5. Полученные на основе эксперимента зависимости коэффициентов потерь колебательной энергии для различных способов демпфирования обрабатывались вышеуказанным методом. Регрессионные зависимости приведены в табл. 2.

Таблица 1

Коэффициенты аппроксимации регрессионных зависимостей коэффициентов потерь колебательной энергии

Толщина, мм	Коэффициент						
	a	*b*	*c*	*d*	*g*	*k*	*h*
Алюминиевые сплавы							
2	0,0113	0,0543	4,8248	0,0066	0,0593	12,0913	0,0041
4	0,0133	0,0315	4,1082	0,0074	0,0457	12,5741	0,0016
6	0,0140	0,0347	3,8746	0,0089	0,0396	12,2500	0,0001
10	0,0141	0,0273	3,9337	0,0064	0,0662	12,2093	0,0003
Сталь							
2	0,0059	0,0223	4,7371	0,0030	0,1026	12,9274	0
4	0,0058	0,0313	4,5602	0,0039	0,0558	13,0139	0
6	0,0037	0,0257	4,0755	0,0001	0,0933	12,5165	0,0008
10	0,0034	0,0416	4,5673	0,0020	0,0680	12,1624	0,0007

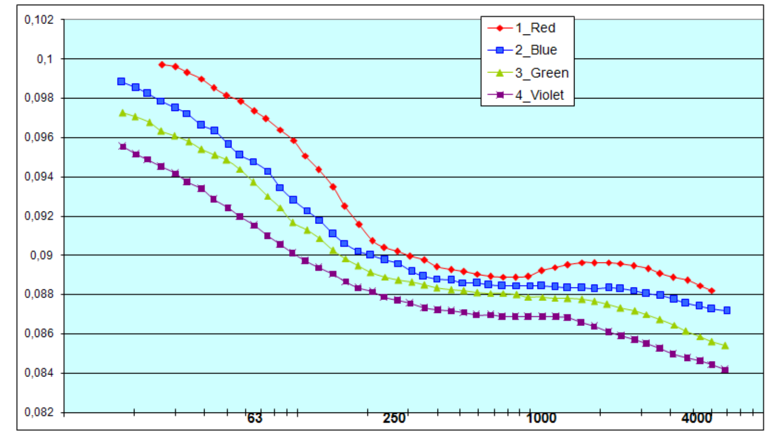


Рис. 4. Коэффициенты потерь колебательной энергии стального лонжерона:
1 — заполнение песком; 2 — заполнение специальным резиновым рукавом с жидкой средой; 3 — заполнение специальным резиновым рукавом с подачей воздуха от пневмосети; 4 — заполнение резиновыми шариками

Таблица 2

Регрессионные зависимости коэффициентов потерь колебательной энергии лонжеронов с различными способами демпфирования

Материал лонжерона	Способ демпфирования внутренней поверхности	Регрессионная зависимость
Алюминиевый сплав	Сыпучий поглотитель	$\eta = 0,1 - 5,8 \cdot 10^{-5} f + 9,9 \cdot 10^{-8} f^2 - 7,7 \cdot 10^{-11} f^3 + 3,2 \cdot 10^{-14} f^4 - 7 \cdot 10^{-18} f^5 + 7,9 \cdot 10^{-22} f^6 - 3,6 \cdot 10^{-26} f^7$;
	Рукав, заполненный маслом	$\eta = 0,098 - 4,7 \cdot 10^{-5} f + 7,6 \cdot 10^{-8} f^2 - 5,6 \cdot 10^{-11} f^3 + 2,1 \cdot 10^{-14} f^4 - 4,2 \cdot 10^{-18} f^5 + 4,3 \cdot 10^{-22} f^6 - 1,7 \cdot 10^{-26} f^7$;
Сталь	Сыпучий поглотитель	$\eta = 0,1 - 3,2 \cdot 10^{-5} f + 5,1 \cdot 10^{-8} f^2 - 3,8 \cdot 10^{-11} f^3 + 1,4 \cdot 10^{-14} f^4 - 3 \cdot 10^{-18} f^5 + 3,1 \cdot 10^{-22} f^6 - 1,3 \cdot 10^{-26} f^7$;
	Рукав, заполненный маслом	$\eta = 0,099 - 3,1 \cdot 10^{-5} f + 5 \cdot 10^{-8} f^2 - 3,7 \cdot 10^{-11} f^3 + 1,4 \cdot 10^{-14} f^4 - 3 \cdot 10^{-18} f^5 + 3,2 \cdot 10^{-22} f^6 - 1,3 \cdot 10^{-26} f^7$.

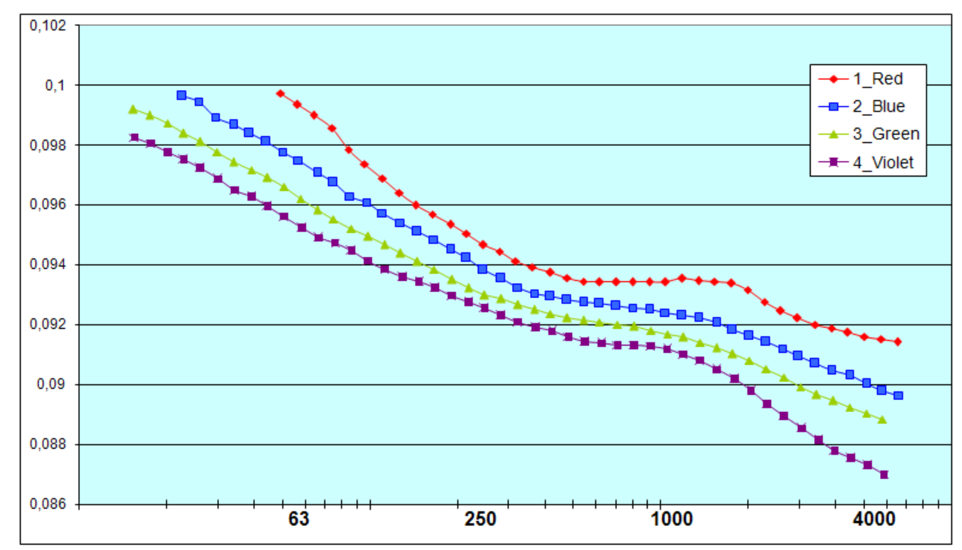


Рис. 5. Коэффициенты потерь колебательной энергии лонжерона из алюминиевого сплава: 1 — заполнение песком; 2 — заполнение специальным резиновым рукавом с жидкой средой; 3 — заполнение специальным резиновым рукавом с подачей воздуха от пневмосети; 4 — заполнение резиновыми шариками

Выводы. Результаты экспериментальных исследований подтвердили правильность теоретических выводов о закономерностях формирования шумообразования при фрезеровании длинномерных изделий, и полученные регрессионные зависимости коэффициентов потерь позволяют не только уточнить расчёты уровней шума, но и выбрать рациональный способ снижения шума в самом источнике.

Библиографический список

1. Шамшура, С. А. Совершенствование методов расчёта виброакустических характеристик процесса виброударного упрочнения деталей на однокоординатных станках с целью обеспечения промышленной безопасности оборудования (на примере лонжеронов транспортных вертолётов) / С. А. Шамшура, А. Н. Чукарин. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2007. — 120 с.

Материал поступил 17.11.2011.

References

1. Shamshura, S. A. Sovershenstvovanie metodov raschyota vibroakusticheskix xarakteristik processa vibroudarnogo uprochneniya detalej na odnokoordinatny`x stankax s cel`yu obespecheniya promy`shlennoj bezopasnosti oborudovaniya (na primere lonzheronov transportny`x vertolyotov) / S. A. Shamshura, A. N. Chukarin. — Rostov-na-Donu: Izd. centr DGTU, 2007. — 120 s. — In Russian.

STUDY ON DAMPING CHARACTERISTICS OF LONGERON TUBES FOR NOISE SPECTRA COMPUTING ACCURACY INCREASE

S. A. Shamshura
(Don State Technical University)

Studies on the noise generation pattern under the long component milling are resulted. It is shown that the noise abatement can be achieved through the choice of the longeron and support unit loss factors.
Keywords: *noise, longeron, measurements.*

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

УДК 002.1

К особенностям определения факультативной части понятия «документ»[1]

В. В. Богуславская, И. В. Богуславский
(Донской государственный технический университет)

Рассмотрены особенности определения факультативной части понятия «документ». Представлены признаки документа средств массовой коммуникаций, дана новая постановка задачи отраслевого определения документа.
Ключевые слова: *документ, документоведение, коммуникация.*

Введение. В информационном обществе основная масса работающих занята в сфере информационной деятельности, а главным продуктом производства и товаром является информация. Поэтому информация и стала важнейшим ресурсом общества и приобрела стратегическое значение. Нельзя забывать о том, что большая часть информации фиксируется на материальных носителях, содержится в разнообразных документах. Именно документ является одним из важнейших средств функционирования, управления и самопознания человеческого общества. Документ (от лат. «документум» — свидетельство) — это материальный носитель данных с записанной на нём информацией, предназначенный для её передачи во времени и пространстве [1]. Понятие «документ» вобрало в себя такие характеристики, как информационное предназначение, материальный носитель, а также ряд функциональных аспектов. Вместе с тем определение понятия «документ» в различных науках имеет существенные отличия. Документ является объектом исследования многих научных дисциплин. Поэтому содержание понятия «документ» многозначно и зависит от того, в какой отрасли и для каких целей он используется. На международном уровне наиболее общим признано определение документа как записанной информации, которая может быть использована как единица в документационном процессе.

В документоведении применяется следующее определение документа: «Документ — это материальный объект с информацией, закреплённой созданным человеком способом для её передачи во времени и пространстве».

По мнению Ю. Н. Столярова [2] в определении понятия «документ» должно быть две части: постоянная и переменная (факультативная), отражающая его особенности в той или иной ситуации.

Цель работы. Целью настоящей работы как раз и является рассмотрение особенностей подходов к определению факультативной части понятия «документ» в современных условиях практики управления документами применительно к средствам массовой коммуникации.

[1] Работа выполнена в рамках инициативной НИР.

Согласно Федеральному закону «Об информации, информатизации и защите информации» документ — это зафиксированная на материальном носителе информация с реквизитами, позволяющими её идентифицировать.

Названные в определениях признаки документа предполагают:

- наличие информации, смыслового содержания;
- стабильную вещественную (материальную) форму, обеспечивающую долговременное использование и хранение документа;
- функциональную предназначенность для передачи информации в пространстве и времени, т. е. для использования в социальных коммуникационных каналах.

Главная составляющая. Главной составляющей документа выступает информация, т. е. самые различные данные, сведения, сообщения, знания, предназначенные для передачи в процессе коммуникации.

Любая сфера человеческой деятельности, так или иначе, связана с документной информацией, т. е. информацией, содержащейся в документе. Информация, содержащаяся в документе, имеет определённую специфику, выражающуюся в следующем:

а) документ является носителем социальной информации, созданной человеком для использования в обществе;

б) документ предполагает наличие семантической (смысловой) информации, являющейся результатом интеллектуальной деятельности человека. Наличие содержания — один из главных отличительных признаков документа. Бессмысленная информация документом быть не может;

в) информация передаётся дискретно, т. е. в виде сообщений. Сообщение, зафиксированное на каком-либо материальном носителе (папирусе, бумаге, пластмассе, фотоплёнке), становится документом. Для документа характерна завершённость сообщения. Незавершённое, фрагментарное сообщение не может быть полноценным документом. Исключение составляют незаконченные литературные произведения, эскизы, наброски, черновики, характеризующие творческий процесс их создателя (писателя, учёного, художника);

г) как любой объект, имеющий знаковую природу, сообщение представляет собой закодированный текст. Значение или смысл закодированного текста можно понять, лишь зная знаковую систему кодирования и декодирования информации. Фиксированное сообщение имеет знаковую форму потому, что только в таком виде можно передать в сообщении знания, эмоции, волевые воздействия автора (коммуниканта), предоставляя читателю (реципиенту) возможность декодировать и овладевать соответствующими знаниями. Знаковость — обязательное свойство любого документного сообщения;

д) документ — это информация, которая зафиксирована на материальном носителе способом, созданным человеком, — посредством письма, графики, фотографии, звукозаписи и т. д.;

е) документ обладает субстанциональностью (вещностью). Для документа важна стабильная вещественная форма.

Автор при создании документа переводит замысел в значение, облекая словесные обозначения смысла в связную, наполненную общепонятными значениями грамматически оформленную речь. В процессе создания документа автор не может позволить себе свободный порядок слов, так как именно порядок слов определяет значение предложения, создавая формулировку мысли [3]. Таким образом, выявление специфических процедур построения документов (с учётом отрас-

левой специфики) позволит показать, насколько чёткая внутренняя логика предложений документа есть необходимое условие успешной коммуникации.

Документ, в основе которого лежит информация особого рода — социальная — всегда объективно отражает социально значимое событие.

Многоаспектность. Документ представлен исключительно многоаспектно, в самых различных вариантах, воссоздаётся с учётом осмысленной и логически оправданной целесообразности. Множество документов отрасли представляет собой слитное множество отдельных описаний конкретных событий (индивидуальных документов) и связанных с ними процессов (социокультурных факторов), с указанием внутри- и межуровневых связей и является четырёхмерным пространственно-временным континуумом. Документ существует в реальном времени и пространстве как обычный материальный объект. Духовная сущность или идеальная сторона документа реализуется в иной пространственно-временной форме — в концептуальном пространстве-времени. Концептуальное пространство-время есть отражение свойств реального времени на уровне понятий и представлений.

Документ — это перцептуально-концептуальное пространство профессиональных образов индивидуальной социальной информации. Автор и читатель разобщены во времени, что характерно для графически воплощённых текстов, но не разобщены в семиотическом пространстве.

Современная картина мира несёт в себе черты противоположно направленных процессов, характеризующих глобализацию информационных потоков — глобализм и антиглобализм (тенденция к идентичности) [4]. Эта картина мира имеет интегрированный характер, отражающий или фиксирующий некие общие черты разных культур — мировую культуру как признак глобализма. С другой стороны, картины мира в современных документах фиксируют тенденцию к идентичности. Даже в самых сложных переплетениях культур можно обнаружить нить идентичности, которая является для людей «источником их значения и опыта». Наконец, вместе с умножением, глобализацией коммуникации происходит и её уплотнение.

Посредством документа автор делится полученной в результате профессиональной деятельности (личного опыта — семиотического опыта) информацией с читателем. Таким образом, документ представляет нам результат познания автором окружающего его мира. Эту «форму взаимодействия людей в процессе познавательно-трудовой деятельности» (обмен мыслями, сведениями, идеями — общение) Лингвистический энциклопедический словарь называет коммуникацией [5].

Поэтому документ социален: по своей сути он является одним из способов человеческих отношений — коммуникации. С языковой точки зрения, документ — целостная организация, построенная по законам и нормам того или иного языка, и представляет собой некоторую систему языковых знаков.

Моделирование смысловых и структурных связей, участвующих в текстообразовании, с целью исследования возможно только при условии безусловной опоры на прагматику — отношения автора (адресанта) текста и читателя (адресата). По наблюдениям учёных, феномен речевой коммуникации состоит в неразрывном соучастии всех факторов в текстообразовании. К таким факторам, или «разнопорядковым сущностям», получающим выражение в языке, относят особенности объективной действительности, характер мыслительной деятельности, системные отношения языковых единиц, условия и особенности коммуникативного процесса. Документ специфичен

как особый элемент функционирующей системы, где взаимодействует несколько составляющих, в том числе автор, коллектив организации и читательская аудитория.

Текстология как лингвистическая дисциплина, занимающаяся исследованием процессов порождения, моделирования структуры и функционирования текста сегодня особенно интересует документоведов. Это связано с тем, что учёные-лингвисты описывают современное состояние русского языка с учётом разнородных факторов, вытекающих из широкого спектра лингвистических и языковедческих традиций. Главное место в исследованиях занимают, в первую очередь, описания лексических и семантических изменений, наблюдаемых в речи массового пользования. Это определяется тем, что «проблематичной стала сама семантика слова как единица или языка, или речи, или текста». «Если раньше основной единицей грамматического семантического анализа было слово во всём многообразии его ипостасей, то теперь единицей, вызывающей пристальное внимание учёных, становится отдельное словозначение со всеми тонкостями его взаимоотношений с другими словозначениями как данного слова, так и других слов» [6]. Данный подход позволяет проанализировать современные тенденции развития языка, но не позволяет увидеть целостную макросистему — документ.

В связи с вышеизложенным, особо актуальной является задача моделирования смысловых и структурных связей, участвующих в текстообразовании, с безусловной опорой на прагматику, отношения говорящего и слушающего — автора (адресанта) документа и читателя (адресата).

В условиях широкого развития новых информационных технологий появилась реальная возможность изготовления цифровых «конспектов» множества документов с целью проведения статистических исследований. При этом мы получим своеобразный «глобальный или обобщённый документ», отражающий коллективный социокультурный опыт. Центральный вопрос, возникающий, когда мы имеем дело с документом, как отмечал В. А. Успенский [7], состоит в выяснении того, какая информация в нём содержится.

Тогда можно говорить о том, что множество документов представляет собой слитное множество отдельных описаний конкретных событий (индивидуальных документов) и связанных с ними процессов (социокультурных факторов), с указанием внутри- и межуровневых связей и является четырёхмерным пространственно-временным континуумом.

Каждая пространственно-временная форма является условием существования другой, поэтому обязателен переход от одной пространственно-временной формы к другой и обратно (система обратной связи) с сохранением относительной самостоятельности, независимости от других форм. Это принцип единства мира, из которого и следует вывод о существовании нефизических форм пространства и времени. Документ существует в реальном времени и пространстве как обычный материальный объект. Этот физический объект — элемент действительности, который имеет своё индивидуальное время [8]. Это индивидуальное время конечно. Для понимания структуры пространственно-временной формы необходимо чётко различать дефиниции. Пространство реальное — существует «на самом деле», пространство концептуальное — научное представление о реальном пространстве в виде физических и математических абстрактных пространств. Концептуальное пространство-время есть отражение свойств реального времени на уровне понятий и представлений. Пространство перцептуальное воспринимает человек своими органами чувств, это, так сказать, пространство индивидуальное. Перцептуальное время также отличается

от реального времени. Оно относится к сфере восприятия реальной действительности индивидуумом [9].

Документ средств массовой коммуникации — это перцептуально-концептуальное пространство профессиональных образов индивидуальной социальной информации.

Документ как часть мира, являющегося открытой системой, реагирует на внезапное изменение внешних или внутренних условий резким ростом потока энтропии вплоть до достижения ею максимального значения в критической точке. После прохождения критической точки система либо адаптируется к новым условиям работы, что проявляется в самоорганизации новых диссипативных структур, соответствующих изменённым условиям, либо разрушается. При этом необходимо помнить, что открытая система любой природы возвращается в стационарное состояние только благодаря притоку информации извне. Пока установлены четыре вида информации: синергетическая (социальная), генетическая, поведенческая и логическая. Возникновение видов информации носит событийно-процессуальный характер.

Документ в этих условиях является средством, прежде всего, синергетики коммуникации. Синергетический аспект документа касается воздействия и влияния источника коммуникации на получателя информации — читателя. Как считает Л. А. Котельникова, синергетика моделирует встречу и время передачи психических состояний одних лиц другим, их взаимопонимание и взаимодействие. Синергетическая модель порождает коммуникативное действие — практическую аргументацию, явно учитывая «здесь и теперь» факторы и характеристики данного процесса, такие как [10]:

– знание предметов, о которых пишется или говорится;
– обоснованность принципов рассуждения;
– умение разбираться в психических качествах потенциальных читателей, их психологии;
– нравственную характеристику автора информации.

Задача определения документа, как представляется, из области «что из чего состоит» смещается в область «что порождает нечто». В данной парадигме документ можно определить как средство коммуникации, порождаемое реальным профессиональным (отраслевым) миром на основе реализации актов волевых решений потенций авторов, востребованных открытой системой — социумом — на принципах синергетики и триединого свойства неопределённости — дополнительности — совместности [11].

Заключение. 1. Документ средств массовой коммуникации представляет собой уникальное явление: это продукт социально направленной деятельности журналиста и процесс взаимодействия автора текста с аудиторией — особый акт коммуникации.

2. Документы средств массовой коммуникации представляют собой модели мира, а их совокупность репрезентирует культуру определённого периода: документ — не только «генератор» новых смыслов, но и «конденсатор культурной памяти».

3. В синергетической парадигме документ можно определить как средство массовой коммуникации, порождаемое реальным миром на основе реализации актов волевых решений потенций авторов, востребованных открытой системой — социумом — на принципах синергетики и триединого свойства неопределённости — дополнительности — совместности.

Библиографический список

1. Ларьков, Н. С. Документоведение / Н. С. Ларьков. — Москва: АСТ: Восток-Запад, 2006. — 432 с. — ISBN 5-17-033775-2.

2. Столяров, Ю. Н. Документ: инвариантная и вариативная компоненты дефиниции / Ю. Н. Столяров // Научные и технические библиотеки. — 2010. — № 11. — С. 25—33.

3. Богодухова, Е. Д. Материалы средств массовой информации как объект экспертного психолого-криминалистического исследования [Электрон. ресурс] / Е. Д. Богодухова. — Режим доступа: http://www.expertizy.narod.ru (дата обращения: 12.01.2012).

4. Ross, L. The intuitive psychologist and his shortcomings / L. Ross // Advances in experimental social psychology. — 1977. — № 10. — P. 173—220.

5. Горелов, И. Н. Коммуникация / И. Н. Горелов // Лингвистический энциклопедический словарь / гл. ред. В. Н. Ярцева. — Москва, 1990. — С. 233.

6. Тураева, З. Я. Лингвистика текста (Текст: структура и семантика) / З. Я. Тураева. — Москва: Просвещение, 1986. — 127 с.

7. Успенский, В. А. Предварение для читателей «Нового литературного обозрения» к семиотическим посланиям Андрея Николаевича Колмогорова / В. А. Успенский // Новое литературное обозрение (НЛО). — 1997. — № 24. — С. 123—173.

8. Урманцев, Ю. А. О свойствах времени / Ю. А. Урманцев, Ю. П. Трусов // Вопросы филологии. — 1961. — № 5. — С. 58.

9. Мостепаненко, А. М. Проблема универсальности основных свойств пространства и времени / А. М. Мостепаненко. — Ленинград: Наука, 1969. — 229 с.

10. Котельникова, Л. А. Синергетика коммуникации в процессе аргументации / Л. А. Котельникова // Устойчивое развитие в изменяющемся мире. — Москва, 1996. — С. 73.

11. Богуславская, В. В. Журналистский текст в пространственно-временном континууме / В. В. Богуславская // Актуальные проблемы филологии и методики преподавания: межвуз. сборник. Ч. 1. — Ростов-на-Дону, 2001. — С. 50—59.

Материал поступил в редакцию 16.01.2012.

References

1. Lar`kov, N. S. Dokumentovedenie / N. S. Lar`kov. — Moskva: AST: Vostok-Zapad, 2006. — 432 s. — ISBN 5-17-033775-2. — In Russian.

2. Stolyarov, Yu. N. Dokument: invariantnaya i variativnaya komponenty` definicii / Yu. N. Stolyarov // Nauchny`e i texnicheskie biblioteki. — 2010. — № 11. — S. 25—33. — In Russian.

3. Bogoduxova, E. D. Materialy` sredstv massovoj informacii kak ob``ekt e`kspertnogo psixologo-kriminalisticheskogo issledovaniya [E`lektron. resurs] / E. D. Bogoduxova. — Rezhim dostupa: http://www.expertizy.narod.ru (data obrashheniya: 12.01.2012). — In Russian.

4. Ross, L. The intuitive psychologist and his shortcomings / L. Ross // Advances in experimental social psychology. — 1977. — № 10. — P. 173—220.

5. Gorelov, I. N. Kommunikaciya / I. N. Gorelov // Lingvisticheskij e`nciklopedicheskij slovar` / gl. red. V. N. Yarceva. — Moskva, 1990. — S. 233. — In Russian.

6. Turaeva, Z. Ya. Lingvistika teksta (Tekst: struktura i semantika) / Z. Ya. Turaeva. — Moskva: Prosveshhenie, 1986. — 127 s. — In Russian.

7. Uspenskij, V. A. Predvarenie dlya chitatelej «Novogo literaturnogo obozreniya» k semioticheskim poslaniyam Andreya Nikolaevicha Kolmogorova / V. A. Uspenskij // Novoe literaturnoe obozrenie (NLO). — 1997. — № 24. — S. 123—173. — In Russian.

8. Urmancev, Yu. A. O svojstvax vremeni / Yu. A. Urmancev, Yu. P. Trusov // Voprosy` filologii. — 1961. — № 5. — S. 58. — In Russian.
9. Mostepanenko, A. M. Problema universal`nosti osnovny`x svojstv prostranstva i vremeni / A. M. Mostepanenko. — Leningrad: Nauka, 1969. — 229 s. — In Russian.
10. Kotel`nikova, L. A. Sinergetika kommunikacii v processe argumentacii / L. A. Kotel`nikova // Ustojchivoe razvitie v izmenyayushhemsya mire. — Moskva, 1996. — S. 73. — In Russian.
11. Boguslavskaya, V. V. Zhurnalistskij tekst v prostranstvenno-vremennom kontinuume / V. V. Boguslavskaya // Aktual`ny`e problemy` filologii i metodiki prepodavaniya: mezhvuz. sbornik. Ch. 1. — Rostov-na-Donu, 2001. — S. 50—59. — In Russian.

ON DETERMINATION FEATURES OF ‘DOCUMENT’ CONCEPT FACULTATIVE PART

V. V. Boguslavskaya, I. V. Boguslavskiy
(Don State Technical University)

The definition features of the facultative part of the ‘document’ concept are considered. The signs of the communication media document are presented. A new statement of the problem on the branch definition of the document is given.
Keywords: *document, document science, communication.*

УДК 316.72

Социокод и проблема социальной интеграции знания

Н. И. Басина, С. Л. Попова, Е. Г. Курова
(Донской государственный технический университет)

Рассмотрен эвристический потенциал понятия «социокод» в анализе природы социального и в типологизации обществ. Типология качественного различия очагов культур создаёт основу для решения проблемы этнокультурных противоречий. Тезис о несовместимости социокодов представлен как принцип, значимый для понимания перспектив современного цивилизационного конфликта. Несовместимость социокодов обусловлена разными способами и темпами получения и утилизации нового знания и обновления социальных процессов. Выявлены основания концептуализации «общества знания».
Ключевые слова: *социокод, культурный тип, нестабильность, производство знания, интеграция знания, «общество знания».*

Введение. В социальных исследованиях последнего времени понятие социокода обрело статус междисциплинарного. Оно позволило по-новому проблематизировать социальную жизнедеятельность, различив *типы социальности* (архаику, традиционализм, модерн). Среди сущностных характеристик общества модерна особое место обрёл принцип нестабильности, обеспечиваемый новыми способами производства знания, постоянно обновляющего все наличные интерьеры социального. Особая социальная функция знания, характеризующая универсально-понятийный социокод, индуцирует его несовпадение с другими социокодами, что усиливает напряжённость в глобальном мире. Подход к анализу современных обществ через призму понятия социокода способствует более глубокому пониманию тенденций социокультурной динамики, природы межцивилизационных конфликтов, причин и факторов современного состояния общества и динамики его социальных институтов.

Содержание понятия «социокод», его категориальный потенциал рассмотрены в ряде философских работ [2, 3, 17].

Целью настоящей работы является анализ эвристических возможностей понятия социокода в понимании современной стадии развития общества (постиндустриализма; движения к «обществу знания»).

Понятие социокода и концептуализация социального. Понятие «*социокод*» было впервые введено в философию М. К. Петровым [15] с целью целостной *концептуализации социального.* Прежде всего это понятие позволило выделить социальное на фоне биологического: социокод предстал принципиально отличным от биокода способом воспроизводства жизни.

В составе социокода присутствует совокупность всех знаний и искусственных способов деятельности, которыми владеет социальность и которые не могут транслироваться человеческими индивидами генотипически (через физическое рождение). Поскольку социальная информация искусственна, социокод выступает *типом уклада* с особенными, присущими только ему механизмами фрагментации и «доставки» коллективного знания по абстрактным «социальным адресам», удержания его в целостности, его трансляции и трансмутации. В состав социокода входят социальные институты, обеспечивающие коммуникацию и межпоколенную передачу социальных навыков. Будучи искусственной и знаковой реалией, социокод существенно отличен от биокода.

Понятие социокода позволило осуществить *историко-культурную типологизацию* различных обществ, либо сосуществующих в едином планетарном пространстве, либо следующих один за другим (что является не законом, но зафиксированной исторической практикой). М. К. Петровым были различены *три типа социальности* (три типа социокультурного кодирования знания,

лежащие в основе архаики, традиционализма, модерна). Идея культурного несовпадения Запада и Востока получила подтверждение принципиальной несовместимостью лично-именного, профессионально-именного и универсально-понятийного социокодов.

Этнографическая непросвечиваемость конкретных культур была выведена за скобки, при этом типологическое несовпадение разных социумов оказалось укоренено в концепции социокода. Матрицей любого общества выступает весь корпус долгоживущих программ человеческой деятельности, а фундирующим основанием типологии является доминирующий способ социального наследования и обновления массива знаний, которыми владеет социум. Так, традиционный социум — это «деревня» с её кланами, кастами, профессиями, «собранными» кровнородственной мифологической связью в некий жизненный уклад, полагаемый извечным и транслируемый через патриархатную семью. Данный тип социума выложен из профессий, как целое он «богаче» любого профессионала, однако личностей, владеющих всеобщим гражданским навыком, внутри традиционализма нет. В нём отсутствуют и сами способы осознания целого: нет «универсального» языка, нет «палубы людей слов» (создателей, а не трансляторов алгоритмов) и «палубы людей дел», претворяющих посылаемые им предписания; нет идеи тождества мысли и бытия, нет двухтысячелетнего воспитания народа христианской идеей, нет опытной науки и её социальных приложений, т. е. нет всего того, что присутствует в «текучей современности» европейского социокода.

Разнопрофильные языки впервые нашли целостное историческое воплощение в универсалиях древнегреческого языка (категориях), составив античное мировоззрение, когда над «сферой дел» вырос слой языковых алгоритмов, носительницей которого впервые стала личность. Европейский социокод в исторической ретроспективе состоялся как социокод классической античности с её двухпалубным (субъект-субъектным) строением коммуникации, преобразованный христианской идеей Троицы и экспериментальным естествознанием Нового времени, выступающим с XVIII в. ключевым способом трансмутации социальной жизнедеятельности.

При этом типы социокультурного кодирования равноценны в условиях автаркии, поскольку все позволяют воспроизводить изолированные «человековейники» (социальную форму жизни). Для социального индивида социокод — его «всё», т. е. это единственно доступный ему способ встраивания в социальность, который в условиях кризиса у индивида просто изымается. Но нетождественные способы социализации, общения, социального обновления в разных социокультурых типах, обусловливающие «культурное разноречие», индуцируют искажённое восприятие ими друг друга, блокируя возможность диалога. История европейского социума последних пяти столетий стала отторжением социума традиционного и выходом в иное, отчего традиционализм и модерн — навсегда несовместимы, будучи выстроены на разных основаниях. Островки традиционализма, намываемые современными миграционными потоками, несут фундаментальные угрозы и деструктивны по отношению к европейскому социокоду. Запад, увиденный Востоком через призму традиционализма, предстаёт разложившейся дезинтегрированной архаикой, пребывающей где-то «на полпути к традиции» (М. К. Петров) и ещё не создавшей для себя достаточного набора типизированных ситуаций, в которые ему только предстоит загнать активность своих социальных индивидов. Иначе, универсально-понятийный социокод для профессионально-именного — это «развитая дикость», малоэффективная, избыточная, не способная переплавить имеющиеся знания в навыкообразующие потенции человека. Восток сквозь западную оптику — неэффективен в силу органического характера стагнации, т. к. программирован в прошлое, не адаптирован к состоянию незавершённости и не способен обновлять свои технологии и социальные институты.

Универсально-понятийный социокод: преобразование функций знания и «знаниевых институтов». Среди характеристик универсально-понятийного социокода, составляющего основу общества модерна, особое место обрёл принцип нестабильности, или «текучей современности» (З. Бауман), исключающий долгоживущие схемы деятельности и ориентирующий человека на

краткосрочные проекты. Впервые в истории процессы обновления стали доминировать над социальной инерцией. Модерн установился как принципиально незавершённая социальная конструкция. Данный социотип был конституирован принципиально новыми способами модификации и изменения наличных интерьеров социальности. Кристаллизовалась особая социальная функция знания, характеризующая универсально-понятийный социокод.

Тема способов и эффектов социальной интеграции знания занимает сегодня первые позиции в типологическом анализе обществ. «Сегодня общепризнано, что знание превратилось в предмет колоссальных экономических, политических и культурных интересов настолько, что может служить для определения качественного состояния общества, контуры которого лишь начинают перед нами вырисовываться» [8, с. 7]. Знание квалифицируется философами как «ген» становящегося общества знаний [9], как «ось» постиндустриализма [1] и пр. Но ещё раньше — в работах М. К. Петрова 1960—70-х гг. — был воплощён уникальный «знаниевый подход» к анализу общества модерна («знаниевый подход» был редукцией, но продуктивной редукцией). Именно общество модерна впервые в истории осуществило ускоренное накопление экономического качества посредством использования научного знания, благодаря чему знание — в силу своей особой преображающей мощи — стало «субстанцией» происходящих изменений, а социум предстал грандиозной системой «циркуляции-перемещения фундаментального знания в контуре: *архив опытной науки — приложение — разработка — внедрение — эксплуатация — архив опытной науки*» [14, с. 26]. Т. е. данная объяснительная схема показала, что «…перемещают именно знание, а всё остальное — комплексность, придающая знанию утилитарные свойства: материалы, одевающие знание в плоть машин и технологий; люди, эксплуатирующие одетое в плоть машин и технологий знание; инкременты качества, позволяющие принимать решения о внедрении разработок, — всё это лишь увлекается знанием в его движении, всё это перемещают вместе со знанием как его атрибуты, теряющие смысл и право на существование, если они лишены несущего скелета, собранного из неуничтожимых и вечных элементов фундаментального знания» [14, с. 26—27].

Внутри *знаниевого комплекса* общества модерна существуют последовательности *раньше — позже,* благодаря которым результаты знаниевой деятельности непрестанно становятся предметами новой знаниевой активности. Знаниевая активность осуществляется как «перетекание» фундаментальной науки, или обнаруженных репродуктивных констант окружения, — в прикладную науку, далее — в область разработок инженеров-проектировщиков с работающими макетами технологий, где знание связано с материалом и воплощено в нём; в сферу внедрения и в сферу эксплуатации. Сама наличная система эксплуатации знания самодостаточна: не предполагает «перерождения», не имеет мотивов к преобразованию, враждебна изменениям. Ресурс преобразований приходит к ней только извне.

Проблема социальной интеграции знания (использования приложений науки) впервые актуализировалась в Новое время. Но только современная социальная мысль поставила вопросы использования знания в центр анализа функционирования и развития социальных систем. Следует отметить, что знание в качестве традиционного предмета эпистемологии оказалось изначально дискретизировано, чем утвердилась идея его двойственного существования (знание, имплицитное формам социальной практики, участвовавшее в создании человеком искусственной среды обитания, и теоретическое знание). Лишь незначительная часть проблемных человеческих навыков выводилась и хранилась в не зависимой от этих навыков знаковой форме.

Знание в знаковой форме — результат специализированного (теоретического) познания действительности, возникшее как результат сжатия наличных умений при выходе их за пределы объёма индивидуальной человекоразмерности в условиях межпоколенной передачи знаний [15]. Внутрисемейное социальное наследование профессиональных навыков традиционного уклада справлялось со знаниевыми объёмами и не превышало имеющиеся ёмкости оперативной памяти

индивидов, оттого не нуждалось в теоризации. Но в них стала остро нуждаться социальность с универсально-понятийным типом социального кодирования, т. е. исторически первое «большое общество», осуществившее «перезагрузку» и совмещение уже распределённых по кровнородственным семьям разнородных функций, их неизбежный «охват» и универсализацию.

Сформировавшееся в эпоху античности теоретическое знание формулирует понятие объективной истины и начинает служить ей; знание получает своё существование после легитимирующих процедур своей истинности (через логический дискурс, затем — через argumentum ad auctoritatem, затем — через повторяющиеся результаты наблюдений). Теоретическое знание до Нового времени не использует эксперимент, дистанцируется от нужд практической жизни, имея подтверждения своей ценности в самом себе. Параллельное и автономное развитие получили технологии, чья связь со знанием не была опознана.

В эпоху высокой классики античной философии был впервые поставлен вопрос о специфике знаковой формы знания и его отличии от профессиональных знаний, вплетённых в практические навыки. Первый итог этих размышлений установил не только противоположность *знания мнению*, но и развёл всеобщее знание («знание что») и знание, вплетённое в практический навык («знание как»), утвердив представление о преимуществах теоретического знания над практическим. Складывался новый идеал образованности граждан античного полиса, в котором всеобщий интерес (интерес социального целого, всеобщий гражданский навык) затмил преимущества овладения частными ремёслами. У Аристотеля мы находим социальное различение теоретического образования и специальной подготовки: если человек всеобщим образом образованный судит о любых вещах, а «знающий как» — сведущ только в своём ремесле, то предпочтительнее быть всеобщим образом образованным, чем «знающим как».

В эпоху конституирования универсально-понятийного социокода понятие знания было представлено двумя линиями в философии (условно — «платоновской» и «аристотелевской»). Если Сократ, Платон и платоники считали функцией знания самопознание и самовозрастание человека посредством овладения им знаниями, то оппоненты Сократа, софисты, впервые опробовали прагматически устремлённую версию знания, усматривая его цель в достижении человеком витального успеха посредством обеспеченной и многократно усиленной знанием социальной активности (главным образом, речевых практик, применяемых в политике). Пользователями сельскохозяйственных и ремесленных технологий античного общества V—IV вв. до н. э. были рабы, отчего «очевидные» практические навыки так и не стали предметом исследовательского интереса. Умения, воспроизводимые рабом, не рассматривались как деятельностная форма знания, но как область конкретных манипулятивных телесных умений и как результат накопленного частного опыта, чуждого генерализации через всеобщие принципы (навык транслировался через показ, но не через слово; для практических навыков не работал механизм «сжатия»).

Древнегреческая пайдейя была направлена не на передачу практических навыков, но на достижение общего для всех граждан идеала совершенства (калокагатии), т. е. образование впервые усмотрело свою цель в самом себе (в получении *образованного* человека). Идеал калокагатии был составлен из характеристик, приписываемых свободному гражданину, и противопоставлен *апайдевсии,* т. е. социальной ограниченности и невежеству. Процесс образования был осмыслен не как наполнение сведениями наивной, неподготовленной души и не как создание у индивида некоторого специального «ручного» умения, но как обращение его души в целом, её универсализация.

Изначальная дискретизация функций знания сохранилась по сей день. Но существование современного мира характеризуется культурно-экономическим расколом, который укоренён в нестабильной форме существования небольшой части обществ, в течение трёх последних столетий использующих науку, и стабильного существования большого количества традиционных обществ,

практикующих традиционный способ утилизации знания. Исход из традиции в нестабильность, или модерн, осуществлялся последние триста лет. В XVII в. «духовными лесами» возникновения опытного естествознания стали: падение «готического» мировоззрения, «насыщение природы» самодвижением и возникновение «законов природы» [12, с. 324]. Но даже появление экспериментальных исследований, этих новых легитимирующих практик объективного знания, не создало науку как социальный институт — для этого потребовались поддержки в виде устойчивых замыканий: исследования — на приложение, а исследования и приложения, в свою очередь, — на университет и академические структуры [12, с. 324].

Тема социальной интеграции знания получила импульс от опытного естествознания и социального института науки. Как известно, философия со времён Ф. Бэкона придаёт особый статус новому знанию-силе, различая опыты светоносные и плодоносные, т. е. впервые знания подразделяются на чистые (фундаментальные) и прикладные. Ключом к механизму социального отчуждения знаниевого продукта и одновременно способом кристаллизации внутренней формы науки стала возникшая в XVII в. форма *публикации результата* [13, с. 134], стихийно выработанного наукой инструмента, в котором пересеклись несколько социальных функций. Обнаруживаемые в статье коммуникативно-трансляционные связи (связь цитирования, т. е. установления отношений с предшественниками; «теоретическое ценообразование», или создание содержательного массива для цитирования будущими авторами; «практическое ценообразование», или возможность участия в практических инновациях; способность мигрировать; способность участвовать в ранговом распределении и пр.) демонстрируют наличие в науке *уровня незавершённого формализма,* где у каждого научного продукта — две социальные перспективы: одна — в область технологических приложений, другая — в сферу порождения нового фундаментального знания [13, с. 136]. Область приложений — мир определённости, «снятого выбора»; но область порождения знания — пространство неопределённости, где продуцируется всегда новое знание при действующем запрете на плагиат. То есть знание по-прежнему демонстрирует двуликость, поворачивается к человеку то одной, то другой своей стороной.

Разнотипность фундаментального и прикладного знания породила раскол в научно-техническом мире. Инженеры — проводники технологических приложений — работают с «готовым знанием», заставляя его приносить прибыль. В мире приложений распределение ценности фундаментального знания носит случайный (с точки зрения науки) характер. Способ социальной утилизации того или иного элемента знания принципиально непредсказуем, отчего отношение социума к развитию института науки вынужденно следует абстрактной максиме *более глубокого* понимания мира объективности (которое ассоциируется с более высокой потенцией прибыли, но в неблизкой перспективе) [13, с. 139].

Различение в знании фундаментального и прикладного (в других терминах — пропозиционального и прескриптивного) сегментов имеет большое значение при оценке эффективности научных изысканий. Современные исследователи относят к разряду фундаментальных также ряд технических наук (критерием фундаментальности выступает то, что они являются эпистемологической базой для других знаний технического характера) [6, с. 12]. Результаты фундаментальных исследований, как правило, не имеют непосредственной перспективы практических приложений.

Момент осознания принципиальной разнотипности фундаментального и прикладного знания и раскола, произошедшего в научном мире, оказался чрезвычайно важен для понимания социальной природы знания в обществе модерна. П. Дракер обратил внимание на то, что эпохальное событие превращения капитализма в целостную социальную систему сопровождалось радикальными изменениями в понимании природы знания. Во-первых, изменились темпы практических приложений знания: изобретения, осуществлённые эпохой индустриализма, внедрялись незамедлительно, повсеместно, при этом они изначально воспринимались как технологии [7]. Во-

вторых, изменился «идеальный» статус знания — внезапно из сферы сознания, соотнесённой со сферой бытия, знание превратилось в деятельностный ресурс, потребительскую услугу, общественный товар, в определяющий фактор производства, при этом с авансцены были отодвинуты капитал и рабочая сила (см. [7]). Это позволило говорить о создании новой экономической системы на основе знания.

Известно, что Дракер избегал т. н. «простых объяснений», не считая, что некий монофактор может стать решающим для возникновения общественных систем — он полагал, что события происходят в результате кумулятивного действия большого числа не зависящих друг от друга обстоятельств. Вместе с тем он пришёл к выводу, что всё же имеется «…один важнейший элемент, без которого такие общеизвестные явления, как капитализм и технический прогресс, не могли бы превратиться в социальную пандемию всемирного масштаба. Этим элементом стало радикальное изменение *значения знания,* которое произошло в Европе около или вскоре после 1700 года» [7, с. 34]. С этого момента формируется понятие *технологии* как знания особого рода.

Современные исследователи пришли к выводу, что все значимые трансформации капитализма XIX—XX вв. происходили под влиянием *изменения функций знания*. Таким образом, был сделан вывод о новых функциях знания, срастающегося с технологиями и меняющего свою социальную природу. Данную проблему впоследствии концептуализировал Дж. Мокир, который выделил в знании подсистему «полезного знания».

Термин «полезное знание» использовал нобелиат С. Кузнец, вкладывавший в него понимание знания как источника экономического роста. Мокир выделил в знании подмножества пропозиционального и прескриптивного знания: первое — каталогизирует природные закономерности, второе — предписывает совершение определённых действий. Пропозициональное знание включает науку, которая была «пренебрежимым подмножеством» в человеческой истории и становится главным и основным сегодня. Прескриптивное знание существует в форме технологии, которая не может быть полностью объективирована и всегда содержит «молчаливый компонент». Любое общество имеет доступ к метанабору технических навыков, идущих из прошлого, выбор которых каждым поколением подобен естественному отбору [10].

Приращение прескриптивного знания не просто сопровождает — составляет сердцевину процесса экономического роста. Работы П. Дракера, Дж. Мокира, М. К. Петрова оказались важны для обоснования новых функций знания в Новой и Новейшей истории и в преддверии «общества знания», поскольку подвергали убедительной критике распространённые предрассудки об экзогенном характере развития технологий, о неэффективности фундаментальных теорий. Так, технологический прогресс, указывает Мокир, был второстепенным фактором экономического роста до 1750 г., оттого что главные субъекты экономической активности того времени действовали *точечно* в условиях реального дефицита научных знаний, которым искали применение: «…это был мир инженерии без механики, выплавки чугуна без металлургии, сельского хозяйства без почвоведения, горного дела без геологии, гидроэнергетики без гидравлики…» [10, с. 15]. До XIX в. наука не оказывала влияния на производство через приложение: в эпонимике технологического творчества вплоть до XIX в. не обнаруживаются «люди науки», а нишу новаторов, обеспечивавших технологические новшества, заполняли исключительно практики-самоучки. Сама технологическая новация неожиданно становится проблемообразующим источником науки. «Сначала появляется многообразие водяных колёс, а затем Карно-старший закладывает основы гидродинамики. Сначала изобретают и совершенствуют паровые машины практики, а затем Карно-сын формулирует основы теплотехники и термодинамики» [12, с. 320]. И лишь с середины XIX в. на мировом рынке появляются товары (удобрения, ядохимикаты, взрывчатые вещества, электротехнические товары и пр.), производство которых уже невозможно без научных знаний. Данный феномен получил название «второй научной революции» [12, с. 320], результатом которой стало *триединст-*

во исследовательской, прикладной и академической составляющих знания, при этом сами составляющие, контактируя друг с другом, меняли нормы и правила знаниевой деятельности, подчиняя их требованиям нового взаимодействия.

Эволюция «превращений» теоретического знания такова: оно двигалось от выстроенности мира идеальных объектов (чистой теории), где утрачен непосредственный контакт с осуществлённым опытом и которому соответствовали профессиональные речевые практики, поддерживаемые тривием и квадривием, — к строительству новой системы знаний о природе, достоверность которых доказывали (опровергали) эксперименты и, спустя столетие, — к приложению, к «полезному знанию» производственных технологий, соединённому с «обучающим знанием» академических практик (результат реформ В. фон Гумбольдта и возникновения «исследовательского университета»). Социальный потенциал *знания, интегрированного в задачи*, позволил за два столетия конституировать «новую современность», которая «на глазах» меняла матрицу развития.

Заключение. Переход к «обществу знаний» (или к интенсивному «онаучиванию общества») обозначает превращение науки в социальный институт, посредством которого будет реализована универсальная природа научного знания: ненаучные дискурсы будут заменены научными, сформируется принципиально новая установка на отношение национального государства к творчеству учёного и к институту науки, который несёт в себе нестабильность; к фундаментализации науки и развитию прикладного знания (благодаря активированию знаниевого сектора внутри корпораций).

Библиографический список

1. Алексеева, И. Ю. Что такое общество знаний? / И. Ю. Алексеева // Институт философии РАН. — Москва: Когито-центр, 2009.

2. Басина, Н. И. Концепт мультикультурализма и проблема несовместимости социокодов [Электронный ресурс] / Н. И. Басина // Материалы III Всероссийского социологического конгресса. — Москва: Институт социологии РАН, Российское общество социологов, 2008. — Режим доступа: http://www.isras.ru/abstract_bank/1208424537.pdf.

3. Басина, Н. И. М. К. Петров: одна из первых версий концепции «общества знаний» / Н. И. Басина, С. Л. Попова // Культура. Текст. Социокод. Международный сборник научных трудов. — Москва: Изд-во Европейского ун-та права «Justo», 2010.

4. Бехман, Г. Общество знания — краткий обзор теоретических поисков / Г. Бехман // Вопросы философии. — 2010. — № 2.

5. Валлерстайн, И. После либерализма / И. Валлерстайн; под ред. Б. Ю. Кагарлицкого. — Москва: Едиториал УРСС, 2003.

6. Дегтярёв, Е. В. К вопросу о структуре и некоторых особенностях технического знания / Е. В. Дегтярёв // Вестник Омского государственного университета. — 2009. — № 5. — С. 12.

7. Дракер, П. Посткапиталистическое общество // Новая постиндустриальная волна на Западе. Антология / под ред. В. Л. Иноземцева. — Москва: Academia, 1999.

8. К обществам знания: Всемирный доклад ЮНЕСКО. — Париж: Изд-во ЮНЕСКО, 2005.

9. Майданский, А. Д. Векторы и контуры общества знаний / А. Д. Майданский // Вестник Московского государственного университета культуры и искусств. — 2005. — № 2.

10. Мокир, Дж. Общество знания: теоретические и исторические основы / Дж. Мокир // Экономический вестник Ростовского государственного университета. — 2004. — Т. 2, № 1.

11. Петров, М. К. Избранные труды по регионалистике / М. К. Петров. — Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ ЮФУ.

12. Петров, М. К. Историко-философские исследования / М. К. Петров. — Москва: РОССПЭН, 1996.

13. Петров, М. К. Самосознание и научное творчество / М. К. Петров. — Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та, 1992.

14. Петров, М. К. Системный подход к организации регионального научного центра / М. К. Петров. — Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ ЮФУ, 2009.

15. Петров, М. К. Язык. Знак. Культура / М. К. Петров. — Москва: Едиториал УРСС, 2004.

16. Общество знания: от идеи к практике. Основные контуры концепции общества знания. Монография. Ч. 1 / под ред. В. В. Васильковой, Л. А. Вербицкой. — Санкт-Петербург: Скифия-принт, 2008.

17. Субботин, А. И. О смысловом потенциале культурологической терминологии М. К. Петрова [Электронный ресурс] / А. И. Субботин // Политическая концептология. — 2010. — № 2. — Режим доступа: http://politconcept.sfedu.ru/2010.2/09.pdf.

18. Штер, Н. Мир из знания [Электронный ресурс] / Н. Штер; пер. с нем. А. Н. Малинкина // Deutschland. — 2001. — No. 1. — Режим доступа: http://filosof.historic.ru/books/item/f00/s00/z0000958/st000.shtml.

Материал поступил в редакцию 21.12.2011.

References

1. Alekseeva, I. Yu. Chto takoe obshhestvo znanij? / I. Yu. Alekseeva // Institut filosofii RAN. — Moskva: Kogito-centr, 2009. — In Russian.

2. Basina, N. I. Koncept mul`tikul`turalizma i problema nesovmestimosti sociokodov [E`lektronny`j resurs] / N. I. Basina // Materialy` III Vserossijskogo sociologicheskogo kongressa. — Moskva: Institut sociologii RAN, Rossijskoe obshhestvo sociologov, 2008. — Rezhim dostupa: http://www.isras.ru/abstract_bank/1208424537.pdf. — In Russian.

3. Basina, N. I. M. K. Petrov: odna iz pervy`x versij koncepcii «obshhestva znanij» / N. I. Basina, S. L. Popova // Kul`tura. Tekst. Sociokod. Mezhdunarodny`j sbornik nauchny`x trudov. — Moskva: Izd-vo Evropejskogo un-ta prava «Justo», 2010. — In Russian.

4. Bexman, G. Obshhestvo znaniya — kratkij obzor teoreticheskix poiskov / G. Bexman // Voprosy` filosofii. — 2010. — № 2. — In Russian.

5. Vallerstajn, I. Posle liberalizma / I. Vallerstajn; pod red. B. Yu. Kagarliczkogo. — Moskva: Editorial URSS, 2003. — In Russian.

6. Degtyaryov, E. V. K voprosu o strukture i nekotory`x osobennostyax texnicheskogo znaniya / E. V. Degtyaryov // Vestnik Omskogo gosudarstvennogo universiteta. — 2009. — № 5. — S. 12. — In Russian.

7. Draker, P. Postkapitalisticheskoe obshhestvo // Novaya postindustrial`naya volna na Zapade. Antologiya / pod red. V. L. Inozemceva. — Moskva: Academia, 1999. — In Russian.

8. K obshhestvam znaniya: Vsemirny`j doklad YuNESKO. — Parizh: Izd-vo YuNESKO, 2005. — In Russian.

9. Majdanskij, A. D. Vektory` i kontury` obshhestva znanij / A. D. Majdanskij // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta kul`tury` i iskusstv. — 2005. — № 2. — In Russian.

10. Mokir, Dzh. Obshhestvo znaniya: teoreticheskie i istoricheskie osnovy` / Dzh. Mokir // E`konomicheskij vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta. — 2004. — T. 2, № 1. — In Russian.

11. Petrov, M. K. Izbranny`e trudy` po regionalistike / M. K. Petrov. — Rostov-na-Donu: Izd-vo SKNCz VSh YuFU. — In Russian.

12. Petrov, M. K. Istoriko-filosofskie issledovaniya / M. K. Petrov. — Moskva: ROSSPE`N, 1996. — In Russian.

13. Petrov, M. K. Samosoznanie i nauchnoe tvorchestvo / M. K. Petrov. — Rostov-na-Donu: Izd-vo Rostovskogo un-ta, 1992. — In Russian.

14. Petrov, M. K. Sistemny`j podxod k organizacii regional`nogo nauchnogo centra / M. K. Petrov. — Rostov-na-Donu: Izd-vo SKNCz VSh YuFU, 2009. — In Russian.

15. Petrov, M. K. Yazy`k. Znak. Kul`tura / M. K. Petrov. — Moskva: Editorial URSS, 2004. — In Russian.

16. Obshhestvo znaniya: ot idei k praktike. Osnovny`e kontury` koncepcii obshhestva znaniya. Monografiya. Ch. 1 / pod red. V. V. Vasil`kovoj, L. A. Verbiczkoj. — Sankt-Peterburg: Skifiya-print, 2008. — In Russian.

17. Subbotin, A. I. O smy`slovom potenciale kul`turologicheskoj terminologii M. K. Petrova [E`lektronny`j resurs] / A. I. Subbotin // Politicheskaya konceptologiya. — 2010. — № 2. — Rezhim dostupa: http://politconcept.sfedu.ru/2010.2/09.pdf. — In Russian.

18. Shter, N. Mir iz znaniya [E`lektronny`j resurs] / N. Shter; per. s nem. A. N. Malinkina // Deutschland. — 2001. — No. 1. — Rezhim dostupa: http://filosof.historic.ru/books/item/f00/s00/z0000958/st000.shtml. — In Russian.

SOCIOCODE AND SOCIAL INTEGRATION OF KNOWLEDGE ISSUE

N. I. Basina, S. L. Popova, E. G. Kurova
(Don State Technical University)

The heuristic potential of the 'sociocode' concept in the analysis of the social essence and historical typology is considered. The qualitative difference typology of the cultural oases provides the basis for solving the problem of ethnocultural contradictions. The thesis on the incompatibility of sociocodes is regarded as a meaningful principal for the comprehension of the current civilizational conflict prospects. The incompatibility of sociocodes is caused by different ways and rates of the new knowledge acquisition and utilization, and of the social processes renewal. The foundations for conceptualizing 'knowledge society' are revealed.
Keywords: *sociocode, cultural type, instability, production of knowledge, integration of knowledge, 'knowledge society'.*

УДК 316

Социальный механизм манипуляции сознанием личности в современном российском обществе

Г. И. Колесникова, А. Е. Аствацатуров
(Донской государственный технический университет)

На основе социально-философского дискурса выявляется структура социального механизма манипуляции сознанием личности, определяется специфика применения данного механизма в современном российском обществе.
Ключевые слова: *личность, манипуляция, механизм, социум, сознание.*

Введение. Сложность переходного периода на рубеже XX—XXI веков была обусловлена особенностями социально-политической ситуации — нестабильностью и, как следствие, сложностью прогнозирования возможных последствий. Данные обстоятельства определяют важность анализа этого периода. Это необходимо прежде всего для того, чтобы на фоне выявленного механизма манипуляции сознанием личности понять закономерности происшедших изменений.

Выявление социального механизма манипуляции сознанием личности актуально и в связи с тем, что отдельные индивиды и группы, имеющие доступ к власти, всё более склонны манипулировать сознанием личностей и групп, находящихся на более низких социальных ступенях, чтобы использовать их ресурсы (физические, интеллектуальные) для достижения своих целей. Современными примерами этому могут служить отдельные события в России в период разрушения советского строя.

Социальный механизм манипуляции сознанием личности. Чтобы найти возможности противодействия манипулированию, необходимо выявить его механизм. Изучение социального механизма манипуляции сознанием личности актуально именно в социально-философском аспекте. Философский анализ интегрирует знания, полученные по данному вопросу в иных научных областях (социология, политология, психология, психофизиология, психолингвистика), — таким образом механизму манипулирования даётся теоретическое обоснование, которое позволит впоследствии сформировать действенную практическую программу блокирования манипуляционных воздействий.

Термин «механизм» в философию ввёл Гегель в работе «Наука логики»: «*Механический способ представления, механическая память, привычка, механический образ действия* означают, что в том, чтó дух воспринимает или делает, недостаёт присущего ему проникновения и присутствия. Хотя механичность его в теоретической или практической сфере не может иметь места без его самостоятельности, без какого-то импульса и сознания, в ней, однако, нет свободы индивидуальности, и так как эта свобода в ней не проявляется, то такое действие выступает как чисто внешнее» [1, с. 237]. Большинство исследователей, работающих в данном направлении, определяют сущность манипулирования как тайно осуществляемое психическое воздействие на сознание индивидов и групп без учёта их интересов. Г. М. Шишков [2] пошёл дальше, распространив его действие на массы и обозначив как «феномен управляемого омассовления». Обоснование манипулирования сознанием вывел Х. Ортега-и-Гассет, исходя из отсутствия у большинства теоретического понимания бытия вещей [3]. Методология формирования сознания на примере американского общества в контексте основной цели (формирование пассивности) рассмотрена Г. Шиллером [4]. Методы вербального и невербального воздействия на сознание анализируются в работах представителей нейролингвистического направления в психологии [5].

В российском научном пространстве в советский период А. М. Ковалёв [6] писал о необходимости изучения не только действия объективных законов, но и возможностей их использования. А. П. Бандурин [7] рассматривал механизм социализации и социальной регуляции, не акцентируя, однако, внимания на их манипуляционной сущности. Т. В. Корсаевская [8] исследовала причины и механизмы изменения человека в процессе его жизни с целью выяснения возможностей прогнозирования «будущего человеческой индивидуальности» и выработки на основе данного прогноза стратегии социального воздействия. Моральную мотивацию как один из элементов механизма формирования желательных установок и формирование желаемого поведения как их следствие изучал Г. И. Пирназаров. Л. Д. Боряева определяла составные элементы воздействия на личность с целью воспитания трудовой дисциплины, выделяя формы и методы воспитания, систему информации о деятельности и поведении личности, систему санкционирования как функцию оценки. Ю. Г. Волков и В. С. Малицкий [9] рассматривали сущность и разновидности механизма формирования личности определённого типа. В частности, Ю. Г. Волков [10] исследовал содержание социального механизма применительно к формированию целостно развитой личности, его типы, принципы организации и функционирования. О значении знания и умения применения механизма манипулирования сознанием личности посредством превращения знаний в убеждения писал В. Д. Попов: «На наш взгляд, он включает в себя те стороны процесса, которые определяют, как, какими путями, под влиянием каких факторов развиваются явления общественной психологии, соответствующие формированию прочных убеждений, активному проявлению их в действиях. Познание такого механизма — актуальная научная проблема» [11, с. 120].

Однако основная масса исследований по проблеме механизма манипулирования сознанием в философии, социологии, психологии ведётся в области манипулирования сознанием групп и масс. В тех работах, где в центре внимания оказывается именно манипуляция сознанием личности, применяется либо технологический подход, при котором внимание сосредоточено на техниках и приёмах манипуляции сознанием личности, либо синтетический — описание конкретных случаев манипуляции сознанием личности или группы. Соответственно, акцент делается на отдельные аспекты воздействия на личность (социальные, культурологические, психофизиологические, психолингвистические), которые не дают в совокупности целостного представления о механизме манипулирования сознанием личности.

Ф. Энгельс писал: «…всякое действительное, исчерпывающее познание заключается лишь в том, что мы в мыслях поднимаем единичное из единичности в особенность, а из этой последней во всеобщность; заключается в том, что мы находим и констатируем бесконечное в конечном, вечное — в преходящем» [12, с. 548]. Так же ставил вопрос Гегель в «Науке логики». Поэтому мы рассмотрим элементы механизма манипуляции сознанием личности с позиции единичного, особенного, всеобщего.

При этом под *социальным механизмом манипуляции сознанием личности* понимается «единство и взаимодействие трёх элементов, составляющих ядро (сущность) данного механизма. Первый элемент механизма представляет собой процесс внедрения (внесения) манипуляторами в сознание личности истинных, ложных, полуложных идей и представлений на сознательном, бессознательном уровнях. Второй элемент — процесс освоения, осмысления, переживания идей и представлений, внесённых в сознание личности манипуляторами (с целью выдачи ложных и полуложных представлений за подлинно истинные), где полуложные представления являются связующим, переходным звеном между ложными и истинными идеями. И третий элемент — процесс ожидаемой манипуляторами деятельности личности, являющейся одновременно и целью и результатом (в случае успешно проведённого манипуляционного воздействия на сознание личности). Осуществлению манипуляционного воздействия на сознание личности предшествует подготовительный этап, на котором происходят определение цели манипуляционного воздействия,

псевдоцели, алгоритма достижения псевдоцели, методов воздействия и составление собственно механизма манипуляционного воздействия» [13].

Манипуляции сознанием личности в современном российском обществе. Период конца XX — начала XXI века в России отличается тем, что «перестав быть тоталитарной страной, Россия так и не стала демократией. Россия в очередной раз опрокидывает научные схемы. Ещё недавно о России писали как о „выборной", „управляемой" демократии. <…> После обвала коммунизма и трёх „революций" Бориса Ельцина — смены государства, формы собственности и политического режима — Россия возвращается к традиционализму. <…> При Путине выборное самодержавие уступило место бюрократическому авторитаризму. Отказавшись от эклектики, Путин придал власти определённость. Поражение либерал-демократического меньшинства на выборах и силовое разрешение конфликта между властью и крупным бизнесом — подтверждение возврата к традиционному государству, диктующему свою волю обществу. Причём в условиях, когда оппонентом Кремля становится левопатриотический фланг, России будет сложно удержаться на отметке мягкого авторитаризма: её будет сносить ещё дальше вспять» [14]. Однако анализ последовательности политических событий в России данного периода позволил выделить следующие временные периоды: период перестройки (1985—1991), деидеологизации и поиска новой идеологии (1991—2000), докризисный период (2000—2008).

Собственно анализ механизма манипуляции сознанием личности проводился по авторской классификационной системе, базирующейся на таких понятиях, как «форма механизма манипуляции сознанием личности», «вид механизма манипуляции сознанием личности», «тип механизма манипуляции сознанием личности».

Понятие «*форма* механизма манипуляции сознанием личности» обозначает специфику организации и функционирования элементов внутри механизма манипуляции сознанием личности в зависимости от таких характерологических признаков политического режима, как методы осуществления политической власти, степень политической свободы в обществе, открытость или закрытость элит с точки зрения социальной мобильности, фактическое состояние правового статуса личности. По этим критериям в настоящее время выделяют три основных типа политических режимов: демократический, авторитарный и тоталитарный. Соответственно, существуют три формы механизма манипуляции сознанием личности: демократическая, авторитарная и тоталитарная.

«*Вид* механизма манипуляции сознанием личности» — понятие, обозначающее специфику организации и функционирования элементов внутри механизма манипуляции сознанием личности в зависимости от таких характерологических признаков исторического периода, как способ организации общества; основа, составляющая могущество системы; базис системы, определяющий ведущий фактор развития; социальная структура; специфика экономики; наиболее ценные, исходя из особенностей исторического вида, качества личности. Поскольку в настоящий период в науке выделяют три основных исторических типа: доиндустриальный, индустриальный и постиндустриальный, — то, соответственно, существуют и три вида механизма манипуляции сознанием личности: доиндустриальный, индустриальный и постиндустриальный.

Под *типом* механизма манипуляции сознанием личности понимается специфика организации элементов внутри механизма манипуляции сознанием личности в зависимости от таких характерологических признаков цивилизационного типа, как ценностно-смысловые компоненты, содержание духовной жизни, институциональные компоненты, специфика общественных структур. Исходя из цели данного исследования, не акцентируется внимание на нюансах научных противостояний в концепциях «Восток — Запад», «Россия — Запад», «Восток — Запад — Россия». За основу анализа берутся выделенные П. А. Сорокиным [15] базисные различия в структуре цивилизационных типов, а собственно специфика механизма манипуляции сознанием личности рассматривается в контексте основных выделяемых в научной литературе векторных типов цивилизации:

восточного, европейского, российского. Следовательно, можно выделить три типа механизма манипуляции сознанием личности: восточный, европейский и российский.

Заключение. Таким образом, специфику механизма манипуляции сознанием личности предложенная классификация определяет в зависимости от политического режима (форма механизма манипуляции сознанием личности), исторического периода (вид механизма манипуляции сознанием личности) и цивилизационного типа (тип механизма манипуляции сознанием личности).

Исходя из данной классификации, механизм манипуляции сознанием личности в период с 1985 по 1991 год определяется как индустриально-тоталитарный подвид российского типа. С 1991 по 2000 год отмечается индустриально-тоталитарный подвид российского типа с тенденцией к индустриально-демократическому европейского типа. Для периода с 2000 по 2012 год характерен индустриально-авторитарный подвид российского типа с тенденцией к индустриально-авторитарному подвиду восточного типа.

Специфика механизмов манипуляции сознанием личности, соответствующих выделяемым временным этапам, и составляющих их элементов, определяется принадлежностью к классификационному типу и задачами тех, кто составлял данные механизмы воздействия на сознание личности.

Однако приведённые механизмы манипуляции сознанием личности в России конца XX — начала XXI века (1985—1991, 1991—2000, 2000—2012) можно рассматривать и как составляющие элементы одного глобального механизма манипуляции сознанием личности. Тогда, соответственно, период с 1985 по 1991 год представляет собой подготовительный этап, на котором происходило определение цели манипуляционного воздействия, псевдоцели, методов воздействия, а также конструирование собственно механизма манипуляционного воздействия. Период с 1991 по 2000 год — сочетание первого и второго элементов механизма манипуляцией сознанием личности. Период 2000—2012 гг. — третий элемент — процесс ожидаемой манипуляторами деятельности личности, являющейся одновременно и целью и результатом.

Библиографический список

1. Гегель, Г. В. Ф. Наука логики / Г. В. Ф. Гегель. — Санкт-Петербург: Наука, 1997. — 800 с. — (Слово о сущем). — ISBN 5-02-028341-X.

2. Шишков, Г. М. Управляемое омассовление / Г. М. Шишков. — Москва: Проспект, 2006. — 226 с.

3. Ортега-и-Гассет, Х. Новые симптомы / Х. Ортега-и-Гассет; пер. В. Бибихина // Проблема человека в западной философии / сост. и послесл. П. С. Гуревича. — Москва: Прогресс, 1988. — С. 202—206.

4. Шиллер, Г. Манипуляторы сознанием / Г. Шиллер. — Москва: Мысль, 1980. — 326 с.

5. Бендлер, Р. Используйте свой мозг для изменений / Р. Бендлер. — Новосибирск: Омега, 2004. — 128 с.

6. Ковалёв, А. М. Программа планомерного совершенствования развитого социализма / А. М. Ковалёв // Научный коммунизм. — 1984. — № 1. — С. 48—61.

7. Бандурин, А. П. Социальная регуляция: рациональное и иррациональное / А. П. Бандурин. — Москва: Глобус, 2005. — 363 с.

8. Корсаевская, Т. В. Пути реализации онтогенетических возможностей человека в условиях научно-технической революции / Т. В. Корсаевская // Комплексное изучение человека и формирование всесторонне развитой личности. Ч. 3. — Москва, 1978. — С. 196.

9. Волков, Ю. Г. Разновидности социального механизма формирования личности коммунистического типа / Ю. Г. Волков, В. С. Малицкий. — Ростов-на-Дону, 1983. — 289 с.

10. Волков, Ю. Г. Социальный механизм формирования всесторонне и гармонически развитой личности / Ю. Г. Волков. — Москва, 1984. — 234 с.

11. Попов, В. Д. Некоторые социально-психологические факторы превращения знаний в убеждения и действия / В. Д. Попов // Политическое самообразование. — 1983. — № 11. — С. 118—132.

12. Маркс, К. Сочинения. Т. 20 / К. Маркс, Ф. Энгельс; Ин-т марксизма-ленинизма при ЦК КПСС. — 2-е изд. — Москва: Политиздат, 1961. — XXII, 827, [1] с.

13. Колесникова, Г. И. Сущность механизма манипуляции сознанием личности: социально-философский аспект / Г. И. Колесникова // Социально-гуманитарные знания. — 2008. — № 8. — С. 54—62.

14. Шевцова, Л. Ф. Демократия (логика вырождения) / Л. Ф. Шевцова // Наше светлое будущее, или Путин навсегда. — Москва: ИнтегралИнформ, 2004. — С. 98—99.

15. Сорокин, П. А. Социальная и культурная динамика. Исследование изменений в больших системах искусства, истины, этики, права и общественных отношений / П. А. Сорокин. — Санкт-Петербург: ИРХГИ, 2000. — 1056 с.

Материал поступил в редакцию 20.02.2012.

References

1. Gegel`, G.-V.-F. Nauka logiki / G.-V.-F. Gegel`. — Sankt-Peterburg: Nauka, 1997. — 800 s. — (Slovo o sushhem). — ISBN 5-02-028341-X. — In Russian.

2. Shishkov, G. M. Upravlyaemoe omassovlenie / G. M. Shishkov. — Moskva: Prospekt, 2006. — 226 s. — In Russian.

3. Ortega-i-Gasset, X. Novy`e simptomy` / X. Ortega-i-Gasset; per. V. Bibixina // Problema cheloveka v zapadnoj filosofii / sost. i poslesl. P. S. Gurevicha. — Moskva: Progress, 1988. — S. 202—206. — In Russian.

4. Shiller, G. Manipulyatory` soznaniem / G. Shiller. — Moskva: My`sl`, 1980. — 326 s. — In Russian.

5. Bendler, R. Ispol`zujte svoj mozg dlya izmenenij / R. Bendler. — Novosibirsk: Omega, 2004. — 128 s. — In Russian.

6. Kovalyov, A. M. Programma planomernogo sovershenstvovaniya razvitogo socializma / A. M. Kovalyov // Nauchny`j kommunizm. — 1984. — № 1. — S. 48—61. — In Russian.

7. Bandurin, A. P. Social`naya regulyaciya: racional`noe i irracional`noe / A. P. Bandurin. — Moskva: Globus, 2005. — 363 s. — In Russian.

8. Korsaevskaya, T. V. Puti realizacii ontogeneticheskix vozmozhnostej cheloveka v usloviyax nauchno-texnicheskoj revolyucii / T. V. Korsaevskaya // Kompleksnoe izuchenie cheloveka i formirovanie vsestoronne razvitoj lichnosti. Ch. 3. — Moskva, 1978. — S. 196. — In Russian.

9. Volkov, Yu. G. Raznovidnosti social`nogo mexanizma formirovaniya lichnosti kommunisticheskogo tipa / Yu. G. Volkov, V. S. Maliczkij. — Rostov-na-Donu, 1983. — 289 s. — In Russian.

10. Volkov, Yu. G. Social`ny`j mexanizm formirovaniya vsestoronne i garmonicheski razvitoj lichnosti / Yu. G. Volkov. — Moskva, 1984. — 234 s. — In Russian.

11. Popov, V. D. Nekotory`e social`no-psixologicheskie faktory` prevrashheniya znanij v ubezhdeniya i dejstviya / V. D. Popov // Politicheskoe samoobrazovanie. — 1983. — № 11. — S. 118—132. — In Russian.

12. Marks, K. Sochineniya. T. 20 / K. Marks, F. E`ngel`s; In-t marksizma-leninizma pri CzK KPSS. — 2-e izd. — Moskva: Politizdat, 1961. — XXII, 827, [1] s. — In Russian.

13. Kolesnikova, G. I. Sushhnost` mexanizma manipulyacii soznaniem lichnosti: social`no-filosofskij aspekt / G. I. Kolesnikova // Social`no-gumanitarny`e znaniya. — 2008. — № 8. — S. 54—62. — In Russian.

14. Shevczova, L. F. Demokratiya (logika vy`rozhdeniya) / L. F. Shevczova // Nashe svetloe budushhee, ili Putin navsegda. — Moskva: IntegralInform, 2004. — S. 98—99. — In Russian.
15. Sorokin, P. A. Social`naya i kul`turnaya dinamika. Issledovanie izmenenij v bol`shix sistemax iskusstva, istiny`, e`tiki, prava i obshhestvenny`x otnoshenij / P. A. Sorokin. — Sankt-Peterburg: IRXGI, 2000. — 1056 s. — In Russian.

SOCIAL MECHANISM OF PSYCHOLOGICAL MANIPULATION IN CONTEMPORARY RUSSIAN SOCIETY

G. I. Kolesnikova, A. E. Astvatsaturov
(Don State Technical University)

On the basis of the social and philosophical discourse, the structure of the social mechanism of psychological manipulation is revealed. The application of the mechanism in the contemporary Russian society is specified.
Keywords: *personality, manipulation, mechanism, socium, consciousness.*

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 338.46:658.6

К вопросу о детерминации категории «качество образовательной услуги»

Д. Б. Дащинский
(Донской государственный технический университет)

Исследованы основные теоретико-методологические подходы к детерминации категории «образовательная услуга». Выявленные специфические черты позволили сформулировать авторское определение качества образовательной услуги и представить эволюцию подходов к данной проблеме. Дана авторская трактовка моделей образовательных услуг.
Ключевые слова: *качество, услуга, образовательная услуга, управление качеством, модель управления качеством.*

Введение. Разработка методологии повышения качества образовательных услуг предполагает анализ самой категории качества (преимущественно в аспекте качества услуг), выявление специфики образовательных услуг и её учёт при проектировании механизмов повышения качества, определение основных характеристик качества образовательных услуг в процессе их производства и потребления.

Категориальное оформление качества образовательной услуги. Качество как философская категория имеет глубокие исторические корни. Упоминания о качественной определённости вещей и явлений встречаются в трудах Фалеса, Анаксимена, Гераклита Эфесского, Анаксагора.

Карл Маркс изучал содержание категории «качество» с позиции диалектического материализма, который исходит прежде всего из признания объективности и всеобщности качественной определённости вещей. Качество объекта обнаруживается в совокупности его свойств. При этом объект не состоит из свойств, не является своего рода «пучком свойств», а обладает ими: «…существуют не качества, а только вещи, обладающие качествами, и притом бесконечно многими качествами» [1, с. 547].

Под свойством имеется в виду способ проявления определённой стороны качества объекта по отношению к другим объектам, с которыми он вступает во взаимодействие. Свойство объекта состоит, таким образом, в том, чтобы производить в другом объекте то или иное действие и обнаруживать себя своеобразным способом в этом действии. В зависимости от реального и познавательного контекста объект как бы светится разными своими сторонами, качествами. Например, образование выступает различными своими качественными гранями для педагога, правоведа, писателя, социолога, психолога, экономиста и т. д. Чем выше уровень организации материи, тем большим числом качеств она обладает. Поскольку каждый объект находится в бесконечных связях с другими вещами, постольку он обладает бесчисленным множеством свойств. Поэтому все попытки определить качество как полную совокупность свойств уводят в бесконечность. Категория качества объекта не сводится и к отдельным его свойствам. Она выражает целостную характеристику функционального единства существенных свойств объекта, его внутренней и внешней определённости, относительной устойчивости, его отличия от других объектов или сходства с ними. Качество не только проявляется, но может видоизменяться и формироваться в этих отношениях. Подобно тому, как материя не сводится к совокупности своих свойств, точно так же никакой объект не растворяется в своих свойствах: он их носитель.

Детерминация категории «качество» имеет следующие аспекты:

1) целостная характеристика вещей,

2) выражение устойчивости вещи в природе,

3) выражение специфики вещи, процесса, явления,

4) объективная категория, выражающая природу вещей.

Переходя к анализу качества как социально-экономической категории, отметим, что здесь термин «качество» чаще всего отождествляется с понятием «качество продукции».

Действительно, с точки зрения производственного подхода, качество понимается как совокупность значимых для потребителя потребительских свойств той или иной продукции. Так, Э. Деминг считает потребителя самым важным звеном производственной линии, так как качество направлено на удовлетворение его запросов, причём не только настоящих, но и будущих. В. Шухарт рассматривает качество как критерий дифференциации предметов по признаку «плохой — хороший» [2], К. Исикава — как свойство, реально удовлетворяющее потребителей [3], Дж. Джуран — как пригодность для использования, т. е. соответствие назначению, при этом субъективная сторона качества заключается в степени удовлетворения потребителей [4], А. Фейгенбаум — как общую совокупность технических, технологических и эксплуатационных характеристик изделия или услуги, посредством которых изделие или услуга будут отвечать требованиям потребителя при их эксплуатации [5], Дж. Харрингтон считает, что качество — это оправдание ожиданий потребителя относительно того, что товар или услуга за приемлемую для заказчика цену позволит удовлетворить возникшие у него потребности [6].

Таким образом, приведённые выше определения зарубежных и отечественных специалистов в области качества позволяют констатировать, что большинство авторов связывают понятие «качество» с удовлетворением определённых ожиданий и потребностей покупателей относительно того или иного товара или услуги.

Международный стандарт ИСО 8402-94 трактует качество как совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворять обусловленные и предполагаемые потребности. Подобная трактовка предложена в тексте стандарта ИСО 9000:2000, где под качеством понимается степень, с которой совокупность собственных характеристик выполняет потребности и ожидания, которые установлены или предполагаются. Согласно Толковому словарю аудиторских, налоговых и бюджетных терминов, качество — это совокупность объективно существующих признаков, характеристик труда, работ, услуг, уровень которых обусловлен показателями, определяющими потребительную стоимость продукции [7].

В ГОСТ ИСО 9000:2001 «Системы менеджмента качества» дано определение качества как степени соответствия присущих характеристик требованиям. При этом речь идёт о различных и разнородных объектах и процессах, происходящих в организации, характеристика — отличительное свойство, требование — потребительское ожидание, которое установлено.

Отметим, что каждая из трактовок «качества» получена путём детализации соответствующих аспектов философского подхода. Качество объекта и процессов, формируемых и реализуемых в социально-экономической практике, приобретает дополнительное свойство, определяемое отношениями полезности или ценности. Это дополнительное свойство раскрывается в учении о трёх родах качества: предметно-вещественном, функциональном, системно-социальном. Предметно-вещественное качество объектов и процессов формируется в их взаимодействии с физическими средами. Функциональное качество объектов и процессов формируется в их взаимодействии в системах «человек — техника», «человек — человек», отражая их основные функции, связанные с назначением. Системно-социальное качество объектов и процессов формируется в их взаимодействии с социальными и экономическими средами (социальными и экономическими условиями). К роду функциональных качеств относится потребительная стоимость создаваемых

объектов и процессов, а к роду системно-социальных качеств — стоимость объектов и процессов. В теории качества введено понятие интегрального качества как единства потребительной стоимости и стоимости создаваемых объектов и процессов, то есть как единства свойств функциональных, назначения, технологических и др. и свойств экономических, связанных с затратами на их создание и потребление.

Таким образом, современное понимание качества в социально-экономическом смысле определяется как:

– свойства, характеристики, признаки, присущие труду, товарам, услугам, работам, не зависящие от желания потребителя и отражающие объективную сторону качества;

– способность удовлетворения потребностей и ожиданий, обусловленная свойствами продукции (услуг);

– характеристики процесса взаимодействия изготовителя и потребителя.

Подводя итоги краткого анализа категории «качество», можно констатировать, что качество как социально-экономическое понятие по отношению к продуктам деятельности различных организаций (товарам или услугам) может рассматриваться в двух аспектах. Первый — аспект его потребления, т. е. способность удовлетворять потребности и ожидания (в некоторых ситуациях удовлетворение может происходить за счёт придания определённых характеристик процессу взаимодействия изготовителя и потребителя). Второй аспект — производственный. Речь идёт о характеристиках, не зависящих от желания потребителя и (или) заказчика или не рассматриваемых (не воспринимаемых) ими в качестве ценности.

В современной экономической литературе можно отметить несколько подходов к определению качества услуг.

Некоторые авторы, отталкиваясь от понятия «качество товара (продукта)», заменяют слово «товар» на «услуга» либо отождествляют их.

Так, в трактовке ЕОК (Европейской организации по качеству) качество (продукции, услуг) — совокупность свойств и характеристик продукции или услуг, обусловливающих их способность удовлетворять установленные или подразумеваемые потребности. Стандарт МЭК (Международной электротехнической комиссии) под качеством услуги подразумевает обобщённый эффект, который зависит от того, в какой степени ею удовлетворён потребитель. При этом качество услуги определяется единством следующих свойств: эффективность, пригодность, стабильность — и другими характеристиками, присущими конкретным видам услуг.

Анализ показывает, что особенности услуг могут соотноситься с показателями качества (табл.).

Вопросы качества разрабатывались Ж.-Ж. Ламбеном в соответствии с пятью основными параметрами (измерениями) качества услуг [8], к которым были отнесены:

1) надёжность (reliability) — способность точно и в срок оказать обещанную услугу;

2) отзывчивость (responsiveness) — готовность персонала помочь потребителям и своевременно оказать услугу;

3) убедительность (assurance) — компетентность персонала и его способность внушать доверие потребителям;

4) сочувствие (empathy) — степень индивидуального внимания к потребителям;

5) осязаемость (tangibles) — все физические, осязаемые предметы, используемые в процессе оказания услуги (свойства оборудования, внешний вид помещения и сотрудников, печатные материалы и т. п.).

Данный подход описывает возможные направления усилий производителей в случае любых услуг, однако он требует существенной конкретизации, если речь идёт об услугах определённого класса или вида.

Особенности услуг и показатели их качества

Особенности услуг	Показатели качества услуги
Взаимодействие исполнителя услуги и её потребителя	Профессиональное сотрудничество работника и потребителя при формировании требований
Воздействие на потребителей условий обслуживания	Условия обслуживания клиента
Услуга представляет собой сочетание процесса и результата	Характеристики как процесса оказания, так и результата услуги
Объектом услуги может быть собственность потребителя	Требование сохранности собственности потребителя и гарантий
Оказание и потребление услуги носит индивидуальный характер	Индивидуальный подход к клиенту
Высокая доля ручного труда, качество которого зависит от мастерства персонала	Зависимость качества от личных свойств, квалификации, настроения, самочувствия персонала
Зависимость потребностей в услуге от сезона, моды, товарного рынка	Состав показателей качества изменяется в зависимости от указанных факторов
Высокая роль обмена информацией при оказании услуги, а также при её выборе	Характеристики обеспечения информацией
Региональный (территориальный) характер рынка услуг	Формирование выраженных региональных требований к качеству услуг

Среди зарубежных специалистов выработалось согласие относительно трёх фундаментальных основ для понимания сущности качества в сфере услуг. Во-первых, установлено, что потребителям гораздо труднее оценить качество услуги как неосязаемого действия по сравнению с качеством товара (изделия). Во-вторых, оценка качества услуги предполагает сравнение потребителем уровня личных ожиданий качества услуги с уровнем собственного восприятия качества. В-третьих, оценка качества услуги потребителем не сводится только к конечному результату обслуживания, но объективно затрагивает и собственно сам процесс обслуживания. Конечный результат и процесс обслуживания взаимосвязаны и являются двумя сторонами одной «медали», то есть понятия «качество».

Описанный зарубежный опыт лёг в основу концептуальных моделей качества услуг. В зарубежной литературе описаны, по крайней мере, две: двухфакторная и пятиступенчатая.

Двухфакторная модель качества была разработана К. Грёнроосом [9] и не имеет какого-либо оригинального схематического выражения.

К. Грёнроос предлагает различать два качественных аспекта, ведущих к оптимальному восприятию качества услуги. По его мнению, для потребителя важно не только то, что он получает в процессе обслуживания, но и как он это получает. К. Грёнроос считает, что для полного восприятия качества необходимы одновременно функциональный и технический аспекты качества. При этом ведущую стратегическую роль автор отводит функциональным аспектам качества (рис. 1).

Качество образовательной услуги определяется сравнением потребителем своих ожиданий качества до потребления услуги с восприятием качества в момент непосредственного потребления. Организация, предоставляющая услуги, которые не удовлетворяют потребителя, может потерять большую долю рынка. В то же время качество образования имеет одну очень важную особенность — необходимость опережения системы требований, предъявляемых развитием внешней среды.

Говоря о понятии «качество образования», следует отметить, что в кругу специалистов существует множество противоречивых подходов к трактовке данного термина.

На основе анализа и обобщения данных следует сделать вывод, что качество образования является недостаточно изученным и по-разному истолкованным объектом, что вызывает споры и дискуссии. Существующие противоречия нуждаются в комментариях, по крайней мере, по одной важной позиции — что же является мерой качества образования: соответствие результата обра-

зования государственному образовательному стандарту или же ожиданиям потребителей? Неоднозначность ответа на этот вопрос следует, по нашему мнению, из того, что под образованием понимается и процесс, и результат обучения.

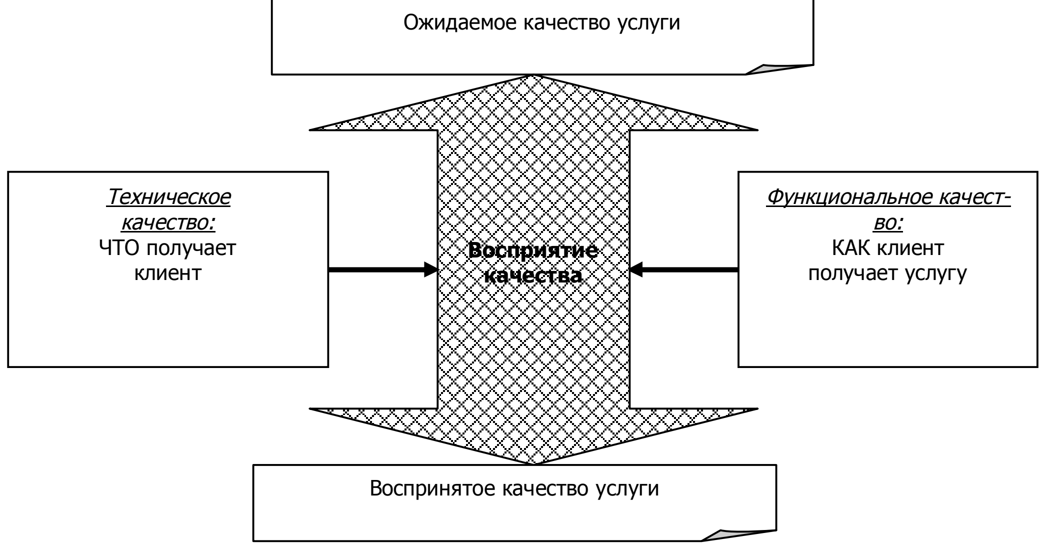


Рис. 1. Двухфакторная модель качества услуги

Мы считаем, что мерой качества как результатов образовательного процесса, так и самого процесса должна являться гарантия того, что образовательная услуга соответствует ожиданиям потребителя. Другими словами, требования к качеству образовательной услуги должны полностью отражать установленные и предполагаемые потребности трёх ключевых групп потребителей (абитуриентов и их родителей, государства, работодателей и рынка труда), что определяет ключевое отличие образовательной услуги от других видов услуг.

При этом качество образования как результат находится в прямой зависимости от качества образования как процесса. Абстрактная образованность, не привязанная к рынку труда, конечно, способна удовлетворить потребность личности в образовании как таковом, но не способна обеспечить его личное финансовое благосостояние и развитие общества. Поэтому именно рынок труда диктует и определяет критерии и оценивает качество образования.

Другими словами, для обеспечения качества образования как результата вузу необходимо гарантировать обучаемому получение именно тех знаний, которые смогут обеспечить его востребованность на соответствующем рынке.

С этой точки зрения, особый интерес представляет модель деятельности вуза по обеспечению качества образовательного процесса в открытой системе в условиях рынка (рис. 2), представленная М. А. Лукашенко [10].

Таким образом, при рассмотрении понятия «качество образования» необходимо учитывать не только конечный результат образовательного процесса, но и сам процесс оказания вузом образовательной услуги. При этом результативность освоения программ должна определяться только по оценкам потребителей-выпускников.

Данное утверждение полностью отвечает требованиям рынка образовательных услуг, а также базовому принципу современной философии качества: качество должен оценивать потребитель.

Качество образования необходимо рассматривать комплексно, то есть следует оценивать:

– качество субъекта оказания образовательных услуг, под которым мы понимаем профессорско-преподавательский персонал;

– качество студентов, т. е. субъекта-объекта оказания услуг;

– качество процесса оказания образовательных услуг;

– качество образовательной политики;

– качество внутренних и внешних условий, в которых осуществляется данный процесс (качество среды);

– качество результата.

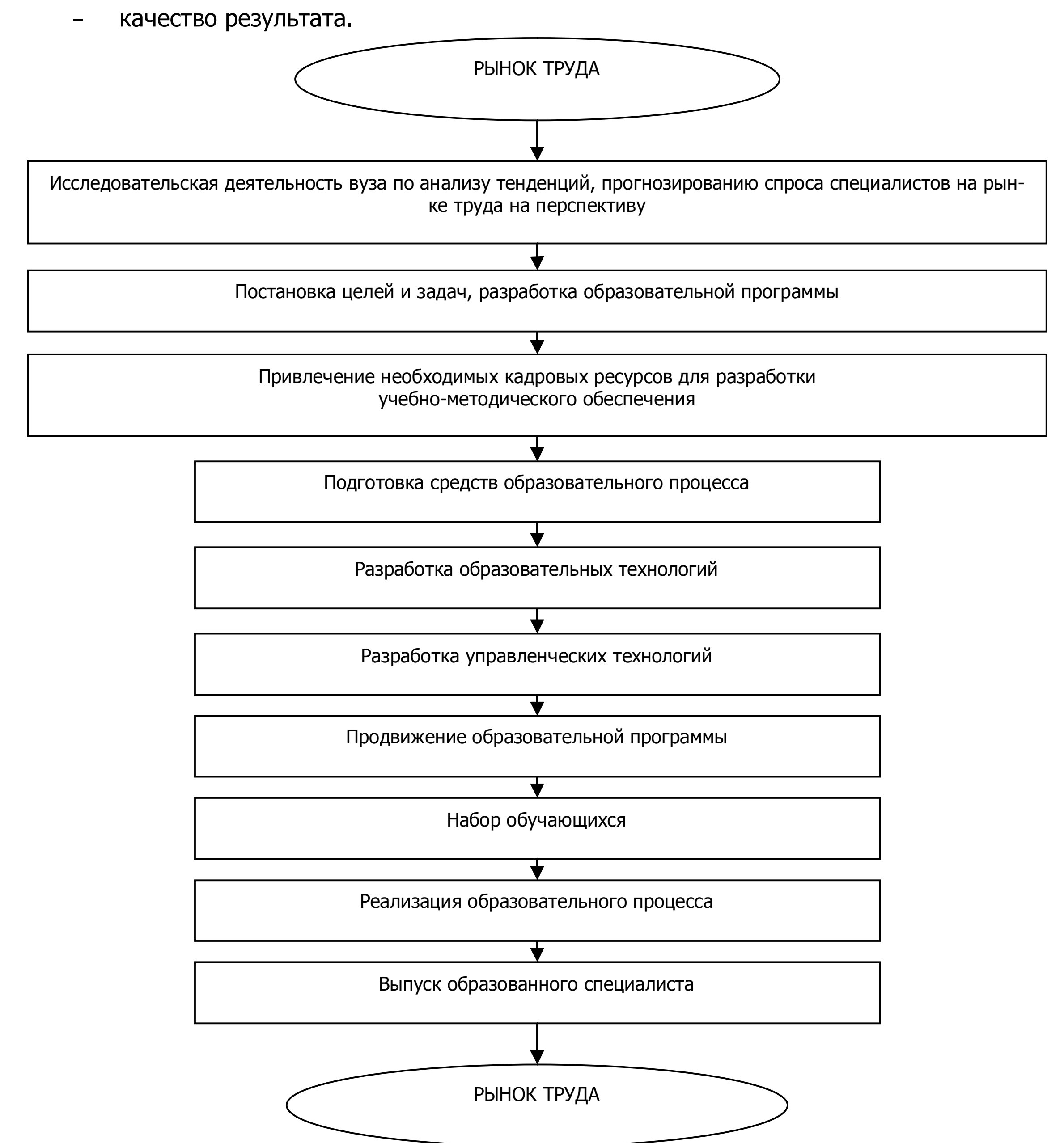


Рис. 2. Деятельность вуза по обеспечению качества образовательных услуг в условиях рынка

Качество образовательной услуги — это совокупность характеристик состояния и результатов процесса образования, относящихся к его способности удовлетворять установленные и предполагаемые потребности трёх ключевых групп потребителей (абитуриентов и их родителей, государства, работодателей и рынка труда).

Рассматривая теоретические и методологические основы современных концепций качества образования, нельзя не остановиться на принципах управления образованием в целом.

1. *Системный* подход к управлению позволяет снизить случайность результатов и стихийность процессов управления. Образовательная система представляет собой социально обусловленную, направленную на формирование и развитие личности целостность участников процесса, взаимодействующих на основе сотрудничества друг с другом, с окружающей средой, её духовными и материальными ценностями. Структура современной системы образования в обобщённом виде представлена на рис. 3.

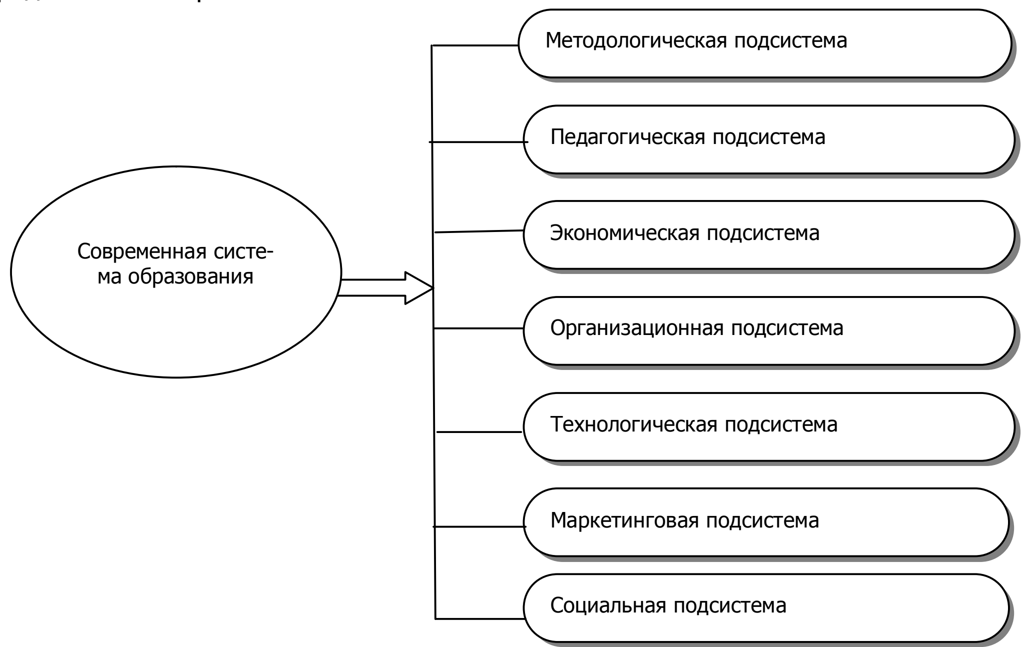


Рис. 3. Общая структура современной системы образования

2. Функциональный подход к управлению является образующим фактором системы. Функции управления осуществляются любым субъектом при управлении любыми объектами или процессами. Управление в различных системах включает ряд сменяющих друг друга этапов: целеопределение, анализ, прогнозирование, планирование, организация исполнения, контроль, регулирование и коррекция.

3. Основной качественной характеристикой синергетического подхода к управлению является «самоорганизация». Основная особенность синергетических проявлений — упорядоченность, целенаправленность сложной системы при относительной неупорядоченности отдельных подсистем. Для развивающихся систем характерны как устойчивость структуры, так и потеря устойчивости, разрушение и создание новой. Таким образом, сущность синергетического подхода состоит в выявлении и познании общих закономерностей, управляющих процессами самоорганизации в системах различной природы, в том числе и в управлении образовательными системами.

4. Деятельностный подход к управлению рассматривает деятельность в управлении образованием как мотивационную, обладающую определённой целью, направленную на конкретный объект или субъект совокупность способов (методов) и средств воздействия, приводящих к запланированному результату.

5. Ситуационный подход к управлению учитывает быстро меняющиеся особенности управленческой деятельности. Ситуационный подход предполагает, что эффективность управленческого воздействия определяется конкретной ситуацией, и самым продуктивным является то управление, которое более соответствует сложившейся ситуации.

6. Самоконтроль, самоанализ и оценка результатов управленческой деятельности создают условия для обращения к рефлексивному подходу. Понятие «рефлексия» означает «обращение

назад, размышление, самонаблюдение, самопознание». Это деятельность человека, направленная на осмысление собственных действий и их законов. Рефлексивное управление образованием, в частности образовательным учреждением, связано с такими факторами влияния на развитие процесса и личности, при которых осознаётся смысл действий, потребность целенаправленной преобразующей деятельности.

7. Национально-региональный подход к управлению актуализируется в условиях складывания федеративного устройства, когда центр решения многих проблем перемещается на региональный уровень.

Вышеизложенные теоретико-методологические подходы к управлению образованием дают системное представление и являются достаточным основанием для разработки методов, технологий и моделей управления качеством образовательных услуг.

Рассматривая инструменты качества, следует особенно отметить цикл PDCA (plan — do — check — act, планирование — выполнение — проверка — реакция), который также часто называют колесом Деминга. Данный цикл отражает последовательную и непрерывную сущность постоянных улучшений и часто используется в сочетание с методом, получившим название 5W2H — аббревиатура от английских слов what (что), why (зачем), where (где), when (когда), who (кто), how (как), how much (сколько).

Приведённый цикл PDCA целесообразно дополнить схемой, демонстрирующей эволюцию подходов к качеству образовательных услуг (рис. 4).



Рис. 4. Эволюция подходов к управлению качеством образовательных услуг

Заключение. Анализ существующих концептуальных подходов позволил сформулировать следующие основные проблемы организации производства образовательных услуг на основе качества:

– различная трактовка понятий «качество образования», «качество образовательной услуги» и критериев их оценки;

– отсутствие чёткого и единого понимания того, что является мерой качества образовательной услуги;

– непонимание роли обучаемых (студентов);

– неоднозначность и сложность определения потребителей продукции вуза и выявления их требований;

– отсутствие стратегического планирования в области качества образовательных услуг в подразделениях вуза.

Анализ изложенных выше проблем ещё раз подчёркивает важность чёткого определения понятий «качество», «качество образования» и «качество образовательной услуги».

Библиографический список

1. Маркс, К. Сочинения. Т. 20 / К. Маркс, Ф. Энгельс; Ин-т марксизма-ленинизма при ЦК КПСС. — 2-е изд. — Москва: Политиздат, 1961. — XXII, 827, [1] с.

2. Всеобщее управление качеством / О. П. Глудкин [и др.]. — Москва: Горячая линия — Телеком, 2001. — 600 с.

3. Исикава, К. Японские методы управления качеством / К. Исикава. — Москва: Экономика, 1988. — 168 с.

4. Джуран, Дж. Высший уровень руководства и качество / Дж. Джуран. — Москва: НТК «Трек», 1993. — 22 с. — (Всё о качестве. Зарубежный опыт; вып. 2).

5. Фейгенбаум, А. Контроль качества продукции / А. Фейгенбаум. — Москва: Экономика, 1986. — 471 с.

6. Харрингтон, Дж. Управление качеством в американских корпорациях / Дж. Харрингтон. — Москва: Экономика, 1990. — 272 с.

7. Толковый словарь аудиторских, налоговых и бюджетных терминов / под ред. Н. Т. Сычёва, В. В. Ильина. — Москва: Финансы и статистика, 2003. — 272 с.

8. Ламбен, Ж.-Ж. Стратегический маркетинг. Европейская перспектива / Ж.-Ж. Ламбен. — Санкт-Петербург: Наука, 1996. — 589 с.

9. Grönroos, C. A service quality model and its marketing implications / C. Grönroos // European Journal of Marketing. — 1991. — Vol. 18, № 4.

10. Лукашенко, М. А. Рыночные отношения в системе образования России / М. А. Лукашенко. — Москва: ИНИОН РАН, 2001. — 271 с.

Материал поступил в редакцию 22.12.2011.

References

1. Marks, K. Sochineniya. T. 20 / K. Marks, F. E`ngel`s; In-t marksizma-leninizma pri CzK KPSS. — 2-e izd. — Moskva: Politizdat, 1961. — XXII, 827, [1] s. — In Russian.

2. Vseobshhee upravlenie kachestvom / O. P. Gludkin [i dr.]. — Moskva: Goryachaya liniya — Telekom, 2001. — 600 s. — In Russian.

3. Isikava, K. Yaponskie metody` upravleniya kachestvom / K. Isikava. — Moskva: E`konomika, 1988. — 168 s. — In Russian.

4. Dzhuran, Dzh. Vy`sshij uroven` rukovodstva i kachestvo / Dzh. Dzhuran. — Moskva: NTK «Trek», 1993. — 22 s. — (Vsyo o kachestve. Zarubezhny`j opy`t; vy`p. 2). — In Russian.

5. Fejgenbaum, A. Kontrol` kachestva produkcii / A. Fejgenbaum. — Moskva: E`konomika, 1986. — 471 s. — In Russian.

6. Xarrington, Dzh. Upravlenie kachestvom v amerikanskix korporaciyax / Dzh. Xarrington. — Moskva: E`konomika, 1990. — 272 s. — In Russian.

7. Tolkovy`j slovar` auditorskix, nalogovy`x i byudzhetny`x terminov / pod red. N. T. Sy`chyova, V. V. Il`ina. — Moskva: Finansy` i statistika, 2003. — 272 s. — In Russian.

8. Lamben, Zh.-Zh. Strategicheskij marketing. Evropejskaya perspektiva / Zh.-Zh. Lamben. — Sankt-Peterburg: Nauka, 1996. — 589 s. — In Russian.

9. Grönroos, C. A service quality model and its marketing implications / C. Grönroos // European Journal of Marketing. — 1991. — Vol. 18, № 4.

10. Lukashenko, M. A. Ry`nochny`e otnosheniya v sisteme obrazovaniya Rossii / M. A. Lukashenko. — Moskva: INION RAN, 2001. — 271 s. — In Russian.

ON DEFINITION OF ‘EDUCATIONAL SERVICE QUALITY’ CATEGORY

D. B. Dashchinskiy
(Don State Technical University)

The basic theoretical and methodological approaches to the definition of the ‘educational service’ category are investigated. The revealed peculiar features have permitted to formulate the author's definition of the educational service quality and to present the development of approaches to this problem. The author's interpretation of the educational service models is given.
Keywords: *quality, service, educational service, quality management, quality management model.*

УДК 005.591.6

Методологические принципы управления развитием промышленного предприятия

К. А. Бармута, Б. Ч. Месхи
(Донской государственный технический университет)

Чтобы придать процессу управления развитием промышленного предприятия логическую завершённость, результативность и структурированность, необходимо следовать ряду методологических принципов управления развитием предприятия. Предложены концептуальные методологические принципы формирования системы управления развитием предприятия с целью повышения эффективности функционирования и качества организации производства.
Ключевые слова: *эффективное развитие предприятия, управление предприятием, принципы управления, синергетика.*

Введение. Особенности рыночной экономики, изменчивость внешней и внутренней среды определяют для каждого предприятия необходимость не только самостоятельно принимать решения, но и полностью отвечать за их результаты. В процессе осуществления деятельности предприятию целесообразно учитывать факторы эффективного развития, чтобы адекватно и своевременно отреагировать на изменения внешней или внутренней среды. Для достижения промышленным предприятием эффективного развития необходимо совершенствовать процесс управления его деятельностью.

Бесспорно, развитие должно быть управляемым, т. е. в большей степени регулироваться направленным управленческим воздействием. Институциональное понятие управления как термина, обозначающего совокупность методов достижения желаемых результатов, вполне применимо и к процессу развития предприятия. Суть управления развитием заключается в достижении планового уровня результатов развития на определённый момент времени [1]. Рыночные колебания и тесно связанная с ними деятельность хозяйствующего субъекта могут привести к замедлению развития, а также к процессам стагнации и даже разрушению организации. Управленческое воздействие призвано сгладить возможные негативные последствия таких колебаний.

С повышением роли инноваций в развитии предприятий в настоящее время невозможным становится использование старых управленческих подходов. Обусловлено это тем, что предприятие может считаться инновационно-активным и перспективно развиваться, если тенденции такого развития обусловлены комплексным внедрением всех видов инноваций: продуктовых и процессных [2]. В пользу данных доводов в работе Н. В. Афанасьева отмечается: «…развитие производства должно происходить параллельно с развитием форм и методов управления. В начале экономического роста могут применяться монопроекты и сравнительно простые методы менеджмента. При этом нарастание сложности управления должно опережать развитие производства, и только в этом случае оно может быть эффективным. Всё это влечёт за собой усложнение в функциональном, организационном, мотивационном, информационном отношениях и дальнейшую полную реорганизацию управляющей и управляемой подсистем» [3].

С развитием рыночных отношений в России становится всё более очевидным, что в рамках прежней системы управления предприятием нельзя достичь стабильного предпринимательского успеха. Особенности переходной экономики, менталитета и культуры России не позволяют в полной мере использовать отработанные в стабильных условиях западной экономики методы управления предприятием. Повышение конкурентоспособности предприятий, выход из создавшихся сложных экономических условий требуют разработки и применения новых подходов к

управлению, более адекватных современной экономической ситуации в России. Управление в условиях рынка означает прежде всего ориентацию предприятия на спрос и потребности рынка, постоянное стремление к повышению эффективности производства, поиск новых возможностей для получения наилучших результатов с наименьшими затратами.

Система методологических принципов управления развитием предприятия. Одной из основных задач развития промышленности является формирование механизма принятия управленческих решений на уровне предприятий для повышения эффективности функционирования и качества организации производства. Обеспечение эффективного развития предприятий обусловлено общими финансово-экономическими проблемами экономики, взаимодействия субъектов рынка, организации внутрипроизводственных отношений в деятельности предприятий.

Формирование механизма эффективного управления развитием предприятия требует обоснования и следования определённым методологическим принципам. Чтобы придать процессу управления развитием промышленного предприятия логическую завершённость, результативность и структурированность, необходимо следовать ряду методологических принципов управления развитием предприятия.

Нелинейный, неравновесный, необратимый характер экономических процессов в среднесрочном и историческом масштабе времени был отмечен экономистами некоторых научных школ ещё в XIX веке. В условиях современного делового мира традиционная управленческая наука всё меньше соответствует практическим интересам менеджеров, поскольку фокусирует своё внимание на анализе, предсказании и управлении. Опыт последних 20 лет показал, что в новой ситуации использование известных принципов ведёт к катастрофе. В условиях быстро меняющихся рынков стремление к количественному описанию (квантификации) социальных явлений — работы, труда, отделение планирования от исполнения, изоляция рабочих друг от друга создаёт такие организационные структуры, которые трудно в короткие сроки приспособить к происходящим переменам.

Система концептуальных методологических принципов управления развитием предприятия, по мнению автора, должна базироваться на следующих научных подходах: интеграционном, целевом, системном, комплексном, ситуационном, экономическом, синергетическом (рис. 1).

Выделенным подходам присущи те или иные принципы управления развитием предприятия: интеграционному подходу — принцип преемственности, целевому — принцип целенаправленности, системному — принцип системности, комплексному — принцип комплексности, ситуационному — принципы многовариантности и устойчивого развития предприятия, экономическому — принципы пропорционального развития, эффективности и результативности, синергетическому — принципы самоорганизации и саморазвития систем и открытости предприятия для инноваций и преобразований.

Следование этим принципам на практике позволит более успешно структурировать процессы управления развитием предприятия и эффективно их реализовать.

Сущность синергетического подхода. Развитие представляет собой фазовые, структурные, векторные трансформации в пространстве и во времени, что обусловило формирование в экономической теории новой парадигмы, основанной на теории самоорганизации и синергетики. Проведём обоснование выделения автором синергетического подхода.

Синергетический менеджмент рассматривается как технология управления развитием на различных уровнях экономических систем — от глобального, отраслевого, корпоративного, регионального до наноуровня (уровня индивида и домашнего хозяйства). Потребность в синергетическом менеджменте критически обусловлена неоднозначностью процессов, которые происходят в экономике и экономической теории в России.

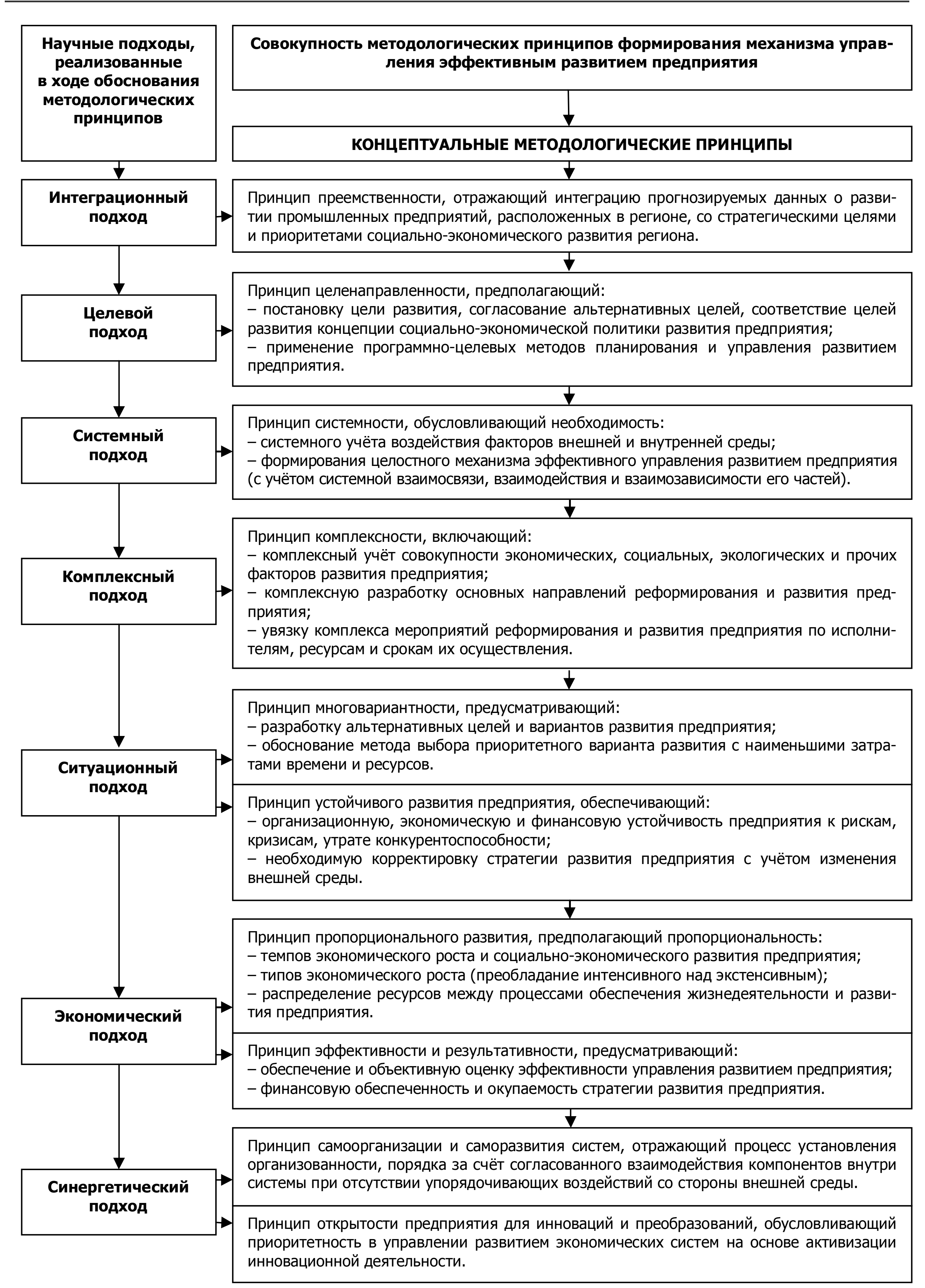


Рис. 1. Система концептуальных методологических принципов управления развитием промышленного предприятия

Синергетический менеджмент ориентирует на ускоренное развитие, прорыв через формирование в системах синергетических эффектов, на создание новых товаров, новых рынков, новой экономической среды.

Умение сформировать и реализовать синергетические эффекты рассматривается в синергетическом менеджменте как высшая компетенция, которой должен обладать менеджер XXI века.

Сам термин «синергетика» был введён в науку в XIX веке английским физиологом Ч.-С. Шеррингтоном для описания кооперативных действий мышечных систем, управляемых мозгом. В дальнейшем этот термин широко использовался в физиологии для обозначения совместного поведения. В последнее время синергетикой стали называть теорию совместного действия, основой которой являются общие закономерности процессов самоорганизации в нелинейных динамических системах различной природы.

Суть самоорганизации состоит в том, что пространство с бесконечным числом измерений порождает сравнительно небольшой набор довольно простых сущностей. В основе теории самоорганизации лежит принцип развития. Фундамент концепции самоорганизации составляют сегодня синергетика и теория изменений. Синергетика (по Г. Хакену) — это эвристический метод исследования открытых самоорганизующихся систем, подверженных кооперативному эффекту, который сопровождается образованием пространственных, временных или функциональных структур, то есть процессов самоорганизации систем различной природы. Теория изменений (Брюссельская школа, её представитель — И. Р. Пригожин) — это эвристическая методология и соответствующий понятийный аппарат исследования процессов движения систем, в особенности фазы «скачка».

Разрабатываемая система управления развитием предприятия наиболее эффективна тогда, когда она вобрала в себя весь предшествующий опыт, накопленный множеством различных течений и научно обоснованный. Новая система управления имеет самые глубокие корни, зародившиеся в начале XX века. Следовательно, на современном этапе развития в управленческой деятельности необходимы глубокие знания законов, управляющих эволюцией окружающего мира, целей, мотивов развития человечества и, что особенно важно, механизма реализации этих целей.

Теория управления может и должна использовать результаты новейших исследований в области естественных и общественных наук, посвящённых эффектам самоорганизации и обогативших системную теорию новыми понятиями: динамический хаос, операциональная замкнутость, самореферентность, контингентность [4].

Решение стратегических и тактических вопросов на предприятии объединяет сегодня управление эффективным развитием. Главная задача современного руководителя — научиться создавать возможности, а не ограничиваться решением проблем.

Непременной чертой процесса управления является переработка информации, установление обратной связи. При этом управление может осуществляться двумя способами: стихийно и сознательно. Первое воздействие происходит в результате взаимодействия субъектов (синергетическое управление). Второе — в результате планомерного воздействия объекта (иерархическое управление). Таким образом, можно сделать вывод, что управление — это процесс вывода системы на новый качественный уровень в результате воздействия энергии на материю в определённом пространстве проявления за время воплощения поставленной цели.

Существующая и совершенствующаяся система управления развитием предприятия предназначена для повышения эффективности его деятельности и создания условий для решения поставленных задач. Это становится возможным посредством внедрения исследованных инновационных технологий управления, которые строятся на универсальных закономерностях системных отношений, новых образовательных программах, раскрывающих способности и инициативу личности в поиске нестандартных решений в системе коллективного, общественного и международ-

ного сотворчества людей [5]. В основе современного менеджмента лежит не автоматизм, а автономия, не идентичность, а различие, не элементы, а отношения между ними, не равновесие, а неустойчивость, не бытие, а постоянное становление.

Рассматривая промышленное предприятие как высокоорганизованный живой организм, можно утверждать следующее: основными целями существования предприятия являются выживание и развитие; главные структурообразующие принципы — самоподобие и самоорганизация; информация — один из самых важных элементов в создании, существовании и развитии предприятий. Сложным системам нельзя навязывать пути их развития, нужно обеспечивать самоуправляемое развитие, правильно организуя воздействия в пространстве, времени и масштабе.

Если рассматривать предприятие как объект, состоящий из множества взаимосвязанных элементов, то он характеризуется специфическим системным свойством, которого не имеет ни одна его часть при любом способе членения. Предприятие как система имеет вход (множество входов), через который внешняя среда воздействует на предприятие, и выход (множество выходов), через который предприятие воздействует на среду. Основываясь на зависимости выхода от входа, предприятие можно классифицировать как сложную систему, у которой выход имеет неоднозначную функциональную зависимость от входа. Предприятие как сложная система обладает особыми, феноменальными свойствами.

– Для сложных систем никакое сколь угодно подробное знание устройства (морфологии) недостаточно для определения способа воздействия входа на выход, и наоборот, никакое, сколь угодно подробное знание способа воздействия входа на выход, не позволяет раскрыть морфологию.

– Сложные системы имеют автономный (внутренний) масштаб времени, отличный от астрономического. Все процессы в них протекают в автономном масштабе времени. С точки зрения внешнего наблюдателя, они могут казаться слишком быстрыми или слишком медленными. Автономный масштаб времени может изменяться.

– Сложные системы имеют автономную систему собственных единиц величин, при помощи которых они могут быть количественно описаны. Единицы автономной системы взаимосвязаны и связаны с единицами физических величин через коэффициенты пересчёта;

– Сложные системы имеют автономную метрику, которая может существенно отличаться от метрики внешней среды. Метрическое различие накладывает существенные ограничения на взаимодействие со средой, но благоприятствует самосохранению системы при изменении условий. Иногда автономная метрика определяет способ существования системы (то есть её системное свойство).

– Сложные системы синергетичны, в них протекают процессы самоорганизации и саморазвития. Они неравновесны и необратимы. Благодаря синергетике они обладают высокой устойчивостью и сопротивляемостью по отношению к внешним воздействиям. Вместе с тем в сложных системах (при определённых условиях) могут протекать процессы автономизации отдельных структур.

– Развитие сложных систем может происходить посредством либо наращивания и усложнения (при самосохранении и устойчивости), либо разделения системы на части (отделения частей). Каждая из частей в дальнейшем развивается самостоятельно, независимо от других или кооперативно.

– Сложные системы, как правило, переживают периоды «зарождения», «детства», «молодости», «зрелости», «старения», «гибели». Неограниченно стагнирующие системы практически не встречаются.

Программа поведения предприятия как системы формируется либо генетически (передаётся), либо синергетически (посредством самоорганизации). Генетическая программа может по-

родить синергетические процессы, устраняющиеся или закрепляющиеся геном, а синергетические процессы могут создать генетическую программу, которая закрепится и сможет порождать соответствующую ей синергетику. Синергетические программы формируются довольно часто, но действие их относительно кратковременно. Последовательность синергетических программ (ввиду влияния предыстории) более-менее близко подходит к направляющим функциям (если не происходит катаклизмов). В принципе синергетические программы могут создаваться посредством внешнего влияния — при взаимодействии систем. Генетические программы эволюционизируют под влиянием среды или собственной синергетики. Это очень медленный процесс. Но они могут почти мгновенно мутировать, существенно изменяясь. Это происходит очень редко, ещё реже мутации закрепляются.

Наиболее очевидная особенность биологических систем, как известно, заключается в том, что они способны к самоорганизации, то есть спонтанному образованию и развитию сложных упорядоченных структур. Для возникновения эффектов самоорганизации необходимо наличие потока энергии, поступающего от внешнего источника в систему и рассеиваемого ею. Именно благодаря этому потоку система становится активной, то есть приобретает способность к автономному образованию структур.

Поскольку главным отличительным свойством изучаемых сред являются протекающие в них процессы самоорганизации, синергетику можно также рассматривать как общую теорию самоорганизации в средах различной природы.

Самоорганизация в целом — процесс установления организованности, порядка за счёт согласованного взаимодействия компонентов внутри системы при отсутствии упорядочивающих воздействий со стороны внешней среды. Бесконечное чередование этапов адаптации — эволюции и перерождений — революции, которое выводит системы на новые ступени совершенства, и есть, по существу, самоорганизация. Для менеджеров самоорганизация — это бесконечное чередование этапов «спокойной» управленческой, организационной работы, адаптирующей существующие объекты к изменениям среды, и неординарных идей, новаторских решений, изобретений и «революционных» реорганизаций, выводящих системы на новые ступени совершенства. Именно на этих этапах руководитель, нашедший неординарное решение, практически реализует выбор между различными вариантами возможного будущего состояния конкретной системы.

Выводы. Таким образом, для более успешного структурирования процессов управления развитием предприятия необходимо следовать ряду принципов, основанных на интеграционном, целевом, системном, комплексном, ситуационном и экономическом подходе. Также добавлен принцип синергетического подхода к управлению эффективным развитием предприятия, которому присущи принципы самоорганизации и саморазвития систем, открытости предприятия для инноваций и преобразований.

Главной задачей при управлении эффективным развитием предприятия становится определение причин изменений, происходящих на предприятии, а также факторов, их определяющих, тогда как ранее было принято акцентировать внимание на сути и составляющих предприятия как системы.

Библиографический список

1. Инновационные процессы в управлении предприятиями и организациями: мат-лы VI Междунар. науч.-практ. конф., 30—31 окт. 2007 г. / ПДЗ. — Пенза: ПДЗ, 2007. — 104 с.

2. Инновационная деятельность и инвестиционная привлекательность предприятия: мат-лы II Междунар. науч.-практ. конф., апр. 2007 г. / ПДЗ. — Пенза: ПДЗ, 2007. — 98 с.

3. Афанасьев, Н. В. Управление развитием предприятия / Н. В. Афанасьев, В. Д. Рогожин, В. И. Рудыка. — Харьков: ИНЖЭК, 2003. — 184 с.

4. Богомолова, Н. В. Современные особенности реализации стратегии реструктуризации предприятий ОПК / Н. В. Богомолова // Стратегическое планирование и развитие предприятий: мат-лы VIII Всерос. симпозиума. — Москва: ЦЭМИ РАН, 2007.

5. Казанцев, А. К. Диагностика национальной инновационной системы России: состояние и тенденции развития / А. К. Казанцев // Управление инновационными и инвестиционными процессами формирования и развития промышленных предприятий: мат-лы междунар. науч.-практ. конф., 15—16 мая 2008 г. — Санкт-Петербург: СПбГИЭУ, 2008.

Материал поступил в редакцию 02.12.2011.

References

1. Innovacionny`e processy` v upravlenii predpriyatiyami i organizaciyami: mat-ly` VI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 30—31 okt. 2007 g. / PDZ. — Penza: PDZ, 2007. — 104 s. — In Russian.

2. Innovacionnaya deyatel`nost` i investicionnaya privlekatel`nost` predpriyatiya: mat ly` II Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., apr. 2007 g. / PDZ. — Penza: PDZ, 2007. — 98 s. — In Russian.

3. Afanas`ev, N. V. Upravlenie razvitiem predpriyatiya / N. V. Afanas`ev, V. D. Rogozhin, V. I. Rudy`ka. — Xar`kov: INZhE`K, 2003. — 184 s. — In Russian.

4. Bogomolova, N. V. Sovremenny`e osobennosti realizacii strategii restrukturizacii predpriyatij OPK / N. V. Bogomolova // Strategicheskoe planirovanie i razvitie predpriyatij: mat-ly` VIII Vseros. simpoziuma. — Moskva: CE`MI RAN, 2007. — In Russian.

5. Kazancev, A. K. Diagnostika nacional`noj innovacionnoj sistemy` Rossii: sostoyanie i tendencii razvitiya / A. K. Kazancev // Upravlenie innovacionny`mi i investicionny`mi processami formirovaniya i razvitiya promy`shlenny`x predpriyatij: mat-ly` mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 15—16 maya 2008 g. — Sankt-Peterburg: SPbGIE`U, 2008. — In Russian.

METHODOLOGICAL PRINCIPLES OF INDUSTRIAL ENTERPRISE DEVELOPMENT MANAGEMENT

K. A. Barmuta, B. C. Meskhi
(Don State Technical University)

To lend logical completeness, effectiveness and structuredness to the industrial enterprise development management process, it is necessary to follow a number of methodological principles of the enterprise development management. The conceptual methodological principles on the formation of the enterprise development management system aimed at the effectivization of the industrial engineering operation and quality are offered.
Keywords: *effective business development, business management, principles of management, synergetics.*

УДК 658.5

Инструменты обеспечения технико-экономической устойчивости производственных систем

А. Н. Кузьминов, В. М. Джуха
(Ростовский государственный экономический университет (РИНХ)),
С. В. Филиппов
(Каменский институт (филиал) Южно-Российского государственного технического университета)

Рассмотрены вопросы формирования подхода к технико-экономической устойчивости предприятия на основе развиваемых инженерных идей «самосохранения». Показано, что при практическом применении данного подхода могут быть использованы инструменты техноценологической теории. Анализируется параметрический состав отопительного газоиспользующего оборудования выделенной территориальной единицы, предложены принципы параметрической оптимизации на основе техноценологического подхода.
Ключевые слова: *управление производственными системами, обеспечение устойчивости предприятия, техноценозы, структурное проектирование, ассортиментная политика.*

Введение. Рыночные преобразования особым образом повлияли на проблематику обслуживания и ремонта оборудования промышленных предприятий, формирование технологической и ассортиментной структуры. Энергозатраты при работе производственного, вспомогательного и обслуживающего оборудования увеличивают издержки производства и, следовательно, снижают конкурентоспособность предприятия, его устойчивость, поэтому снижение энергоёмкости, интенсификация использования мощностей — важные управленческие задачи. Финансовое и технологическое руководство предприятия, решая многокритериальную задачу выживания основного производства, объективно не может эффективно развивать отдельные хозяйства, проектировать и производить новые виды техники и оснастки, поскольку современные экономические методики, учитывающие имеющийся у предприятий парк оборудования и перспективы его замены, находятся за пределами внимания.

Концепция устойчивости на основе идей самострахования. Общие вопросы обеспечения технико-экономической устойчивости производственных систем посредством самострахования и методы оптимизации параметрических рядов используемой техники достаточно подробно рассмотрены в работах Дж. Шогрена, Т. Крокера, С. Найторна, М. Мак-Гваера, Дж. Пратта, Р. Зекхаузера, В. Чиу, Дж. Суини, Р. Бирда, Э. Бриса, Х. Шлезингера, Л. Хайберта, Б. Кудрина и ряда других авторов. Целью настоящей работы является поиск нового инструментария для изыскания путей повышения устойчивости производственных систем через повышение эффективности проектирования и производства на уровне исследовательских и опытно-конструкторских работ, маркетингового прогнозирования.

Обратимся к тенденциям и перспективе решения организационных проблем. Изменение системы хозяйствования в 90-е годы и продолжаемая в настоящий момент отраслевая реструктуризация обострили и оставили без решения три вопроса, существенно важных для выживания предприятия:

1) устаревшая система планирования и нормирования, которая выглядит анахронизмом в рыночных условиях и при широком разнообразии технических систем на предприятии;

2) несовершенные методологические принципы производственного менеджмента, которые опираются на неоправданно высокий уровень допусков;

3) отсутствие общей идеологии стратегического функционирования на большинстве предприятий.

Кроме того, у главных специалистов промышленных предприятий до последних лет преобладал узкотехнический взгляд, особенно на внедрение новых технологий. Растущая рыночная конкуренция и эволюция информационных технологий привели, например, к смене принципов проектирования высокотехнологичных промышленных изделий и взаимодействия специалистов, участвующих в этом процессе. В технической подготовке производства объектом разработки становится не комплект конструкторской и технологической документации, а электронное описание изделия — его технический «генокод». А само проектирование представляет собой действие техноэволюции, технический отбор наиболее эффективного с точки зрения рыночной выживаемости технического изделия.

При этом люди, отвечающие за техническое перевооружение, — чаще всего это заместитель главного инженера или начальник отдела оборудования, — как правило, никак не связаны с отделами маркетинга и сбыта, службами, отвечающими за ценообразование. Они не очень хорошо представляют себе, как приобретение данного оборудования повлияет на рыночную позицию предприятия, его финансовые результаты.

Очень редко оборудование приобретается под конкретный вид изделий, востребованный рынком, так как многолетний опыт приучил машиностроителей к приоритету технологических возможностей оборудования без привязки к конкретной номенклатуре деталей.

Традиционная технология «планового» перевооружения слабо связана со спецификой изделий, которые планируется изготавливать на новом оборудовании:

• заявки цехов на замену устаревшего оборудования, как правило, ориентированы на сохранение сложившейся технологии;

• отдел оборудования агрегирует заявки и ищет поставщиков с учётом выделенного бюджета;

• специалисты предприятия посещают выставки, чтобы найти требуемое оборудование, сравнить различные предложения;

• выбор производится по какому-либо случайному признаку (самое дешёвое, самое модное или рекламируемое, похожее на уже имеющееся, первое попавшееся из определённого класса), потому что жёстких рыночных критериев никто не установил;

• происходит закупка и запуск оборудования.

За каждый из этих этапов отвечает какая-то служба. Проблема в том, что нет службы, отвечающей за эффективность приобретаемого оборудования, контролирующей его использование:

• насколько новое оборудование соответствует исходной идее;

• как оно загружено;

• изменилась ли технология изготовления изделия;

• насколько снизилась трудоёмкость изготовления на данном оборудовании.

Поскольку основным критерием выбора оборудования зачастую служит цена, поставщики научились «играть» ею. Предлагается низкая стоимость базовой комплектации (при этом «отсекаются» уважающие себя солидные поставщики, сразу называющие реальные цены), а большинство необходимых технологических возможностей выносится в опции. Без технологической оценки применительно к той или иной номенклатуре деталей (а её реально произвести только в ходе специального проекта) достаточно трудно сказать, нужны конкретные опции или нет. Поэтому опции:

• не приобретаются вовсе;

• приобретаются «на глазок»;

• приобретаются впрок.

В любом из этих случаев предприятие в реальном производстве сталкивается либо с необходимостью дозакупки (нередко её стоимость близка к стоимости базового комплекта), либо дорогие приобретённые опции оказываются невостребованными (деньги на ветер).

Тенденция «лоскутного» перевооружения (его ещё называют «принципом зоопарка»), когда приобретается однотипное оборудование различных производителей, приводит к сложностям в обслуживании и комплектации запчастями. Нередко такая тенденция объясняется борьбой кланов внутри предприятия: каждый из них лоббирует свои связи и преследует собственные интересы, не задумываясь о бизнесе в целом и о последствиях неустойчивой политики технического перевооружения.

Всё перечисленное является, на наш взгляд, закономерным проявлением отсутствия у предприятия единой непротиворечивой философии обеспечения условия локальной устойчивости и перспективной безопасности производства в широком смысле слова, учитывающей указанные выше свойства технологического отбора.

Стандартное решение (общепринятое) этой задачи как экономической связано с использованием функции ожидаемой полезности, определённой на вероятностях и исходах. Представление о неопределённостях связано с размером начальных потерь L и вероятностью наступления этих событий p. Отсутствие потерь интерпретируется как выигрыш и желательное событие, потери — нежелательное.

Отсюда следуют два способа максимизации ожидаемой полезности. Если участник может самостоятельно предпринимать действия, экономический агент может тратить свой доход на снижение размера потерь $\Delta L < 0$ или (и) снижение вероятности неблагоприятного исхода $\Delta p < 0$. Операцию по снижению размера потерь они назвали самострахованием (self-insurance), по снижению вероятности — самопротекцией (self-protection).

Обсудим отличия этих стратегий от стратегии снижения рисков с помощью страхования.

1. Страхование предполагает существование третьих лиц, которые собирают риски (страховщиков, предложения по услугам страхования, формализованных контрактов и т. д.), а также государственного регулирования.

2. Страхование изменяет распределение выигрышей между разными состояниями мира с помощью третьего лица. Самострахование изменяет размеры потерь (выигрышей) за счёт самостоятельных действий.

3. Относительные цены состояний (цены страховых контрактов) определяются рынком страхования, соотношением спроса и предложения. Теорема Эрроу — Линда (1970) утверждает, что при бесконечном росте числа страхователей, каждый из которых изначально не склонен к риску, на рынке устанавливаются актуарно справедливые ставки страхования. Исчезновение прибыли в отрасли заставляет всех проявлять нейтральность к риску. Эта теорема создаёт ограничение для решения одной из задач.

Поведение, изучаемое в настоящей статье, отличается от описанного.

Самострахование (self-insurance) — самостоятельное действие с целью распределения потерь между состояниями. Снижение происходит за счёт того, что экономический агент тратит часть своих ресурсов на их снижение. С формальной точки зрения самострахование можно интерпретировать как сдвиг функции распределения. Способ изменения распределения при самостраховании будем называть «технологией самострахования».

Свойством сдвига распределения является сохранение относительных цен состояний. Мы исключаем из рассмотрения ситуацию беспечности, когда вследствие того, что неблагоприятное событие не произошло, экономический агент пересматривает свои ожидания. Перестройка индивидуального поведения в ответ на накапливаемый опыт — отдельная и активно разрабатываемая тема.

Самопротекция (self-protection) — способ изменения относительных цен состояний в пользу благоприятного. Такое поведение делает неопределённость в задаче эндогенной. Результат становится стохастической функцией от затраченных усилий.

Ключевую роль в таком поведении играет мотив избегания ожидаемых потерь. Стандартно отношение к потерям описывается как несклонность к риску и страхование. Несклонность к риску принято интерпретировать в терминах готовности заплатить за то, чтобы избежать риска. Расходы на снижение риска описывают в терминах спроса на страхование. В случае изолированного агента экономическому агенту остаётся надеяться только на себя [1, 2].

В литературе приводятся интересные свойства самопротекции. М. Мак-Гваер, Дж. Пратт, Р. Зекхаузер (1991) изучали влияние несклонности к риску на самопротекцию. Они показали, что результат существенно зависит от начальных условий. Более склонный к риску агент меньше готов платить за обеспечение малого шанса для хорошего исхода, но больше для того, чтобы избежать малого шанса плохого исхода. При этом самопротекция превращается в азартную игру, где первоначально не склонный к риску агент готов платить за увеличение малых шансов хороших исходов. На этой основе Дж. Пратт, Р. Зекхаузер вводят пороговый уровень вероятности, который зависит от свойств самого агента и величины исхода [3].

В. Чиу (2000) показал, что если начальная вероятность ниже некоторой пороговой величины, то более не склонный к риску экономический агент будет иметь более высокую склонность к самопротекции [4].

Дж. Суини, Р. Бирд (1992) попробовали упорядочить экономических агентов на основе их расходов на самопротекцию, предполагая, что более осторожный будет тратить больше [5]. Они показали, что в рамках модели ожидаемой полезности это сделать невозможно. Это фундаментальный результат, поскольку из него следует невозможность упорядочивания поведения только на основе размера дохода. В другой работе Дж. Суини, Р. Бирда (1992) было показано, что интервал вероятностей, внутри которого самопротекция является нормальным товаром, сложным образом зависит от распределения богатства вдоль всего интервала. Однозначно можно сказать, что самопротекция будет нормальным товаром только для убывающей средней несклонности к риску и достаточно большой начальной вероятности неблагоприятного исхода [6].

Объяснение неоднозначному результату самострахования было дано Э. Брисом и Х. Шлезингером (1990). Они рассмотрели изменение доходов в результате самопротекции при сохранении среднего значения дохода. Это критическое ограничение, которое позволяет сравнивать исходы двух лотерей в смысле первого стохастического доминирования. В случае положительного исхода правая граница доступного дохода всегда сдвигается влево. Левая граница находится под одновременным влиянием двух величин. Во-первых, она сдвигается влево за счёт расходов. Во-вторых, снижение вероятности потерь сдвигает левую границу как влево, так и вправо. Таким образом, самопротекция может как увеличивать разрыв между предельными значениями дохода в абсолютном выражении, так и снижать. Результатом является неоднозначность естественной процедуры снижения риска неблагоприятного исхода [7].

В то же время при самостраховании диапазон дохода, на котором определена функция полезности, сужается. Правая граница сдвигается влево за счёт расходов, левая сдвигается вправо за счёт снижения потерь.

Снижение случайностей в производственном процессе рассмотрел Л. Хайберт (1983). Случайность меняет производственный процесс. В этом смысле неопределённость может рассматриваться как фактор производства, комплементарный к тем, которые фирма покупает на рынке. Фирма может предпринять действия, чтобы снизить потери от неожиданностей. Для борьбы со случайными потерями фирме требуется выделение ресурсов, что в точности эквивалентно задаче о самостраховании. Фирма также может влиять на вероятность наступления потерь, что также было рассмотрено Л. Хайбертом (1983) [8]. Он приводит анализ решения на чувствительность к изменениям склонности к риску и вероятности и заключает, что при определённых условиях рост

несклонности к риску увеличивает оптимальный уровень расходов на самострахование, но далеко не всегда.

Как видно из этого краткого обзора, существующие методы анализа не позволяют чётко представить структуру поведения экономического агента. Возможно, это связано с использованием специализированного инструментария. Самопротекция неизбежно нарушает симметрию распределения, что выводит новое распределение за пределы множества нормальных распределений. Поэтому в этом месте экономической теории имеется спрос на адекватный математический аппарат — алгебраические структуры, определённые на стохастических распределениях, такие как, например, негауссовские — ценологические.

Техноценологический инструментарий проектирования производства. Проектирование и производство новых видов техники, как наиболее сложное в системе обеспечения устойчивости предприятия, должно базироваться на современных методиках, учитывающих как уже имеющийся у предприятий парк оборудования, так и перспективы его замены, и названном выше требовании самострахования. Функциональное предназначение технического изделия реализуется с помощью определённых конструктивных решений. Чем сложнее конструкция, тем больше требуется затрат на её проектирование, производство и эксплуатацию. В свою очередь, совокупность требований, предъявляемых к новому изделию, задаётся внешними условиями функционирования будущего изделия, а также внутренними факторами производства, причём в результате воплощения в жизнь технического проекта можно получить более или менее удачную конструкцию. Степень совершенства конструкции будет определяться соотношением полезного эффекта и затрат.

По своему содержанию технические изделия взаимосвязаны, причём данная связь имеет чёткую, объективную ресурсную и энергетическую природу. Учитывая это, возможно идеальное гармоничное сочетание технических изделий в рамках определённой территории, которое минимизирует суммарные физические и экономические затраты. Это возможно в объекте ценологического типа, отличительной чертой которого является специфическая связь между его элементами.

Под техноценозом понимается ограниченная в пространстве и времени взаимосвязанная совокупность далее неделимых технических изделий, объединённых слабыми связями [9, 10].

В настоящее время существуют теоретические и эмпирические наработки, подтверждающие объективно существующую взаимосвязь между параметрическими характеристиками технических изделий, с одной стороны, и количеством этих изделий в техноценозе — с другой. Чем более технически сложным, дорогостоящим, уникальным является техническое изделие, тем меньшее их количество должно входить в устойчивый техноценоз. Таким образом, технические параметры изделия во многом задаются степенью массовости этих изделий в техноценозе. Отклонение технических параметров и количества изделий в ту или иную сторону может повлиять на устойчивость системы в целом.

Процесс создания и производства новой техники характеризуется двумя противоположными тенденциями:

- стремление потребителя индивидуализировать своё потребление;
- стремление производителя унифицировать производство.

Среди видов техники, используемых в больших количествах, но отличающихся небольшим разнообразием, главенствующую роль играет производитель (рынок продавца). Учитывая многочисленность этих видов техники, они не могут быть технически сложными, энергоёмкими, дорогостоящими, так как не смогут быть обеспечены ресурсно в процессе производства и эксплуатации.

Малочисленные виды техники часто технически более сложны, функциональны, дорогостоящи. Большее разнообразие объясняется приоритетной ролью потребителя (рынок потребителя).

Стремление потребителей индивидуализировать потребление не создаёт качественных ограничений для получения новых полезных признаков изделий, в то же время стремление производителя унифицировать производство существенно сдерживает процесс усложнения изделий. То есть на этапе конструирования технические параметры будущего изделия ограничиваются только объективными физическими законами. Факторы, ограничивающие разброс параметров техники, возникают на этапе проектирования.

Оптимизация видового и параметрического состава оборудования может осуществляться на системном уровне по законам оптимального построения техноценозов.

Применимость техноценологического метода для описания и оценки видового и параметрического состава отопительного газоиспользующего оборудования (ОГИО) рассмотрена на примере выделенной административно-территориальной системы — города Каменска-Шахтинского Ростовской области [11].

В области широко представлены практически все отрасли экономики, наибольшее развитие имеют сельское хозяйство и промышленность. Характерно, что именно промышленные предприятия, наряду с объектами жилищно-коммунального хозяйства являются основными потребителями ОГИО. В этой связи по структуре производительных сил и численности населения Ростовская область является типичным представителем Южного федерального округа [12].

По структуре промышленности, количеству предприятий, численности населения город Каменск-Шахтинский — типичный средний город Ростовской области. Следовательно, параметрический и видовой состав теплоэнергетического оборудования будет также типичен для области. Совокупность теплоэнергетического газоиспользующего оборудования города является техноценозом, так как, во-первых, данный ценоз ограничен в пространстве. Общее количество теплоэнергетического газоиспользующего оборудования города включает в себя более семи тысяч функционально обособленных «особей», не связанных друг с другом сильными связями. Во-вторых, существует единая инфраструктура, включающая в себя систему обеспечения топливом, а также систему контроля эксплуатации и обеспечения функционирования.

В качестве видообразующего параметра выбрана тепловая мощность ОГИО — данный параметр наиболее полно характеризует исследуемый техноценоз, а также позволяет дать конкретные рекомендации по разработке и модернизации существующих видов техники. Первый ранг присваивается «особи», имеющей наибольшую тепловую мощность (Гкал/час) среди «особей», второй ранг присваивается «особи», имеющей наибольшую тепловую мощность после первой и так далее.

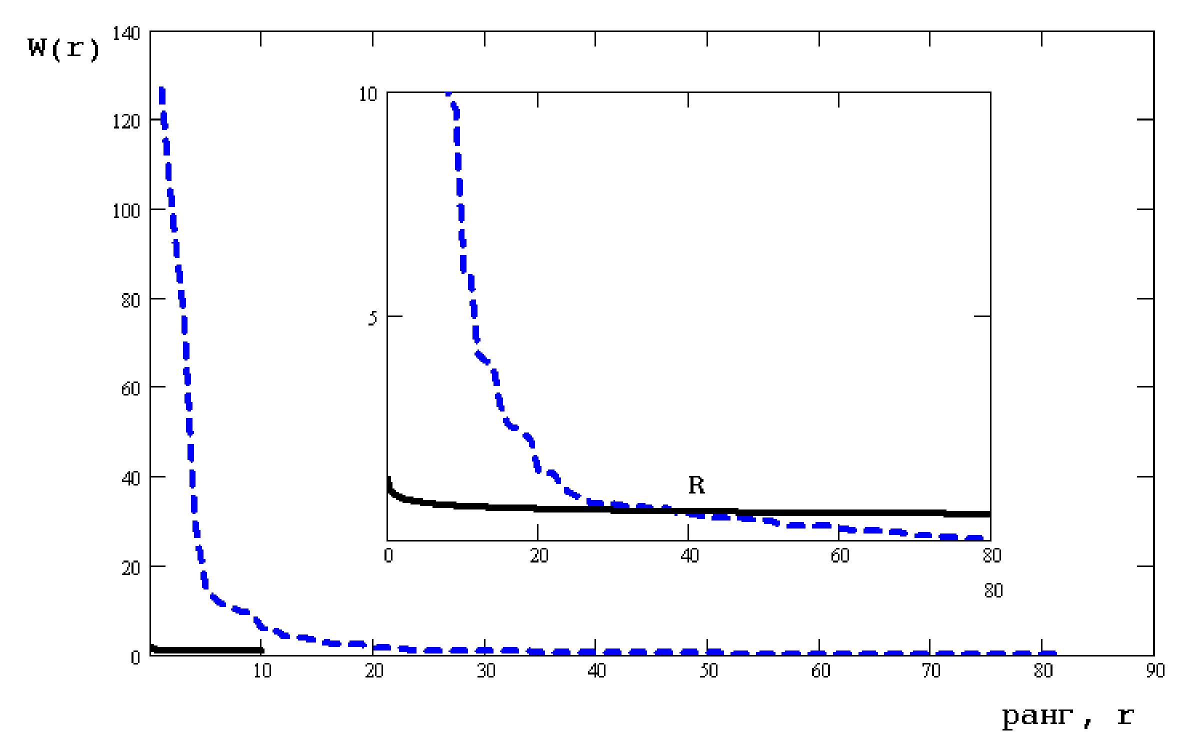
В ранговом параметрическом распределении каждой точке графика будет соответствовать не вид техники, а «особь». Уравнение аппроксимирующей кривой наиболее точно описывающей эмпирические данные, имеет вид:

$$W\left(r\right)=\frac{1}{r^{0,13}}$$

где W — параметр распределения (тепловая мощность); r — параметрический ранг; параметры распределения $W0 = 1$, $\beta = 0,13$.

Для наглядности и возможности сравнения результатов на графическую форму рангового параметрического распределения наложен график функции с полученными в результате расчёта параметрами $W0$ и β. Пунктирной линией показаны экспериментальные значения, сплошной — теоретические, для удобства восприятия распределение представлено также фрагментами с увеличенным масштабом (рис.).

Параметрическая оптимизация предполагает целенаправленное изменение параметров отдельных «особей», приводящее техноценоз к более устойчивому и, следовательно, эффективному состоянию [13].



Теоретический и экспериментальный графики рангового параметрического распределения

Таким образом, можно вести речь о задании комплекса требований на разработку новых и модернизацию действующего ОГИО. Необходимо также помнить о взаимосвязи между численностью видов ОГИО и уровнем их видообразующих параметров (например, тепловой мощности). Оптимизация может осуществляться не только за счёт изменения параметров, но также и путём изменения численности «особей» данного вида в техноценозе. Как указывает ряд авторов, есть основание полагать, что параметрическая оптимизация в техноценозе является зачастую самодостаточной процедурой и обеспечивает улучшение, в том числе и видового разнообразия [10, 14].

Требования к форме кривой видового или рангового видового распределения можно распространить на совокупность ранговых параметрических распределений данного ценоза. При этом появляется возможность судить об оптимальном состоянии. При избыточной унификации «редкую» ассортиментную группу необходимо расширять за счёт групп ОГИО, численность которых насчитывают два и более объекта. При избыточной асортице, наоборот, из «редкой» ассортиментной группы необходимо исключить часть видов.

Ранговое параметрическое распределение технических объектов для рассматриваемого промышленного предприятия далеко от статистически идеального — канонического. Слева от точки *R* (38; 0,64) (рис.) рангового параметрического распределения расположены особи с высоким ранговым показателем — это промышленные ОГИО, предназначенные для теплоснабжения крупных предприятий или ЖКХ. Значительный разброс ранговых показателей объясняется проводимой ранее государством политикой централизации и укрупнения теплоснабжающих предприятий. Совершенствование параметрической структуры техноценоза предполагает оптимизацию мощностных показателей групп, расположенных слева от точки *R* за счёт особей с наибольшим параметрическим показателем.

Таким образом, совокупность ОГИО в г. Каменске-Шахтинском представляет собой техноценоз, подчиняющийся законам построения техноценозов и описывающийся гиперболическим распределением. Ценоз построен не оптимально, однако оптимизационные процедуры позволяют привести его к каноническому виду. Полученные результаты предполагается учитывать при фор-

мировании технического задания на выпуск ОГИО. При формировании модельного ряда необходимо учитывать как уже сложившийся парк аналогичного оборудования, так и научно обоснованный состав данного оборудования, прогнозируемый с помощью техноценологического подхода.

Заключение. Применение предлагаемых рекомендаций позволит повысить устойчивость технико-экономических систем за счёт использования ценологического подхода при формировании параметрических рядов на этапе исследовательских и опытно-конструкторских работ, снизить риски, связанные со сбытом произведённой продукции в условиях конкуренции, решая при этом проблему самострахования и устойчивости.

Библиографический список

1. Shogren, J. F. Risk, Self-Protection and Ex Ante Economic Value / J. F. Shogren, T. O. Crocker // Journal of Environmental Economics and Management. — 1991. — P. 91—111.

2. Nityrn, S. Investments in Human Capital and Social Self-Protection under Uncertainty / S. Nityrn, I. Parush // International Economic Review. — Oct. 1980. — P. 547—557.

3. McGuire, U. Paying to Improve Your Chances: Gambling or Insurance / U. McGuire, J. Pratt, J. R. Zeckhauser // Journal of Risk and Uncertainty. — 1991. — V. 4. — P. 329—338.

4. Chiu, W. H. On the Propensity to Self-Protect / W. H. Chiu // The Journal of Risk and Insurance. — Dec. 2000. — P. 555—577.

5. Sweeney, G. Self-Protection in the Expected Utility of Wealth Model: an Impossibility Theorem / G. Sweeney, R. Beard // The Geneva Papers on Risk and Insurance Theory. — 1992. — V. 17, № 2. — P. 147—158.

6. Sweeney, G. The Comparative Statics of Self-Protection / G. Sweeney, R. Beard // The Journal of Risk and Insurance. — Jun. 1992. — V. 59, № 2. — P. 301—309.

7. Briys, E. Risk Aversion and the Propensities for Self-Insurance and Self-Protection / E. Briys, H. Schlesinger // Southern Economic Journal. — 1990. — V. 57, № 2. — P. 458—467.

8. Hiebert, L. D. Self-Insurance, Self-Protection and the Theory of the Competitive Firm / L. D. Hiebert // Southern Economic Journal. — Jul. 1983. — V. 50, № 1. — P. 160—168.

9. Кудрин, Б. И. Проблемы создания и управления ценозами искусственного происхождения / Б. И. Кудрин // Кибернетические системы ценозов: синтез и управление. — Москва: Наука, 1991. — С. 5—17.

10. Кудрин, Б. И. Классика технических ценозов. Общая и прикладная ценология / Б. И. Кудрин. — Томск: Изд-во ТГУ — Центр системных исследований, 2006. — 220 с. — (Ценологические исследования; вып. 31).

11. Филиппов, С. В. Параметрическая оптимизация эффективного состояния техноценоза / С. В. Филиппов // Научная мысль Кавказа. — Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ, 2006. — Спецвып. 2. — 148 с.

12. Кузьминов, А. Н. Результаты исследования региональной рыночной среды типичного среднего города России / А. Н. Кузьминов, Ю. В. Матюнина, Е. Б. Колбачёв // Философские основания технетики: сб. тр. — Москва: Центр системных исследований, 2002. — С. 533—536.

13. Гнатюк, В. И. Оптимальное построение техноценозов. Теория и практика / В. И. Гнатюк. — Москва: Центр системных исследований, 1999. — 272 с. — (Ценологические исследования; вып. 9).

14. Фуфаев, В. В. Экономические ценозы организаций / В. В. Фуфаев. — Москва; Абакан: Центр системных исследований, 2006. — 88 с.

Материал поступил в редакцию 12.12.2011.

References

1. Shogren, J. F. Risk, Self-Protection and Ex Ante Economic Value / J. F. Shogren, T. O. Crocker // Journal of Environmental Economics and Management. — 1991. — P. 91—111.

2. Nityrn, S. Investments in Human Capital and Social Self-Protection under Uncertainty / S. Nityrn, I. Parush // International Economic Review. — Oct. 1980. — P. 547—557.

3. McGuire, U. Paying to Improve Your Chances: Gambling or Insurance / U. McGuire, J. Pratt, J. R. Zeckhauser // Journal of Risk and Uncertainty. — 1991. — V. 4. — P. 329—338.

4. Chiu, W. H. On the Propensity to Self-Protect / W. H. Chiu // The Journal of Risk and Insurance. — Dec. 2000. — P. 555—577.

5. Sweeney, G. Self-Protection in the Expected Utility of Wealth Model: an Impossibility Theorem / G. Sweeney, R. Beard // The Geneva Papers on Risk and Insurance Theory. — 1992. — V. 17, № 2. — P. 147—158.

6. Sweeney, G. The Comparative Statics of Self-Protection / G. Sweeney, R. Beard // The Journal of Risk and Insurance. — Jun. 1992. — V. 59, № 2. — P. 301—309.

7. Briys, E. Risk Aversion and the Propensities for Self-Insurance and Self-Protection / E. Briys, H. Schlesinger // Southern Economic Journal. — 1990. — V. 57, № 2. — P. 458—467.

8. Hiebert, L. D. Self-Insurance, Self-Protection and the Theory of the Competitive Firm / L. D. Hiebert // Southern Economic Journal. — Jul. 1983. — V. 50, № 1. — P. 160—168.

9. Kudrin, B. I. Problemy` sozdaniya i upravleniya cenozami iskusstvennogo proisxozhdeniya / B. I. Kudrin // Kiberneticheskie sistemy` cenozov: sintez i upravlenie. — Moskva: Nauka, 1991. — S. 5—17. — In Russian.

10. Kudrin, B. I. Klassika texnicheskix cenozov. Obshhaya i prikladnaya cenologiya / B. I. Kudrin. — Tomsk: Izd-vo TGU — Centr sistemny`x issledovanij, 2006. — 220 s. — (Cenologicheskie issledovaniya; vy`p. 31). — In Russian.

11. Filippov, S. V. Parametricheskaya optimizaciya e`ffektivnogo sostoyaniya texnocenoza / S. V. Filippov // Nauchnaya my`sl` Kavkaza. — Rostov-na-Donu: SKNCz VSh, 2006. — Speczvy`p. 2. — 148 s. — In Russian.

12. Kuz`minov, A. N. Rezul`taty` issledovaniya regional`noj ry`nochnoj sredy` tipichnogo srednego goroda Rossii / A. N. Kuz`minov, Yu. V. Matyunina, E. B. Kolbachyov // Filosofskie osnovaniya texnetiki: sb. tr. — Moskva: Centr sistemny`x issledovanij, 2002. — S. 533—536. — In Russian.

13. Gnatyuk, V. I. Optimal`noe postroenie texnocenozov. Teoriya i praktika / V. I. Gnatyuk. — Moskva: Centr sistemny`x issledovanij, 1999. — 272 s. — (Cenologicheskie issledovaniya; vy`p. 9). — In Russian.

14. Fufaev, V. V. E`konomicheskie cenozy` organizacij / V. V. Fufaev. — Moskva; Abakan: Centr sistemny`x issledovanij, 2006. — 88 s. — In Russian.

INSTRUMENTS OF ENGINEERING-ECONOMIC STABILIZATION OF PRODUCTION SYSTEMS

A. N. Kuzminov, V. M. Dzhukha
(Rostov State University of Economics),
S. V. Filippov
(Kamensk Institute (branch), South-Russian State Technical University)

Some issues of forming an approach to the engineering-economic security of the enterprise on the basis of the developing engineering ideas of 'self-preservation' are considered. It is shown that the instruments of the technocenosis theory can be used under the practical application of the given approach. The parametric content of the heating gas-using equipment of the allocated local unit is analyzed. The principles of the parametric optimization based on the approach according to the technocenosis are offered.

Keywords: *production system management, security of enterprise, technocenosis, structural design, assortment policy.*

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.791.052-192

Проектирование сварных соединений, обеспечивающих малоцикловую усталость на уровне основного металла

В. Ф. Лукьянов, Ю. Г. Людмирский, Д. В. Рогозин
(Донской государственный технический университет)

Рассмотрены результаты испытания сварных соединений со стыковыми и угловыми швами на малоцикловую усталость при двухосном растяжении в коррозионной среде. Предложены конструктивные способы повышения усталостной прочности сварных соединений путём изменения геометрических параметров сварного шва.
Ключевые слова: *сварные соединения, прочность, проектирование, малоцикловая усталость, испытания.*

Введение. Создание сложных инженерных объектов для различных отраслей народного хозяйства требует совершенствования методов их проектирования и технологии изготовления металлических конструкций. Особенное значение это приобретает для ответственных конструкций оболочечного типа (корпусных конструкций), от которых требуется высокая удельная прочность, как при статическом, так и при повторно-статическом нагружении.

Применение термически упрочнённых сталей является широко распространённым приёмом повышения удельной прочности конструкции. При этом лучшие результаты могут быть достигнуты в том случае, когда термическое упрочнение металла производят после завершения изготовления конструкции. Однако по техническим соображениям этот путь неприемлем для крупногабаритных листовых конструкций, вследствие чего при изготовлении таких конструкций отдают предпочтение использованию листового проката, термически упрочнённого в процессе металлургического производства. Существующие технологические приёмы выполнения сварки позволяют обеспечить равнопрочность основного металла и сварных соединений при статическом нагружении для сталей с пределом прочности до 1400 МПа.

Постановка задачи и её решение. Для тяжело нагруженных сварных конструкций, изготовляемых многопроходной сваркой с полной разделкой кромок, характерны стыковые соединения и соединения подкрепления отверстий (штуцерное соединение), показанные на рис. 1.

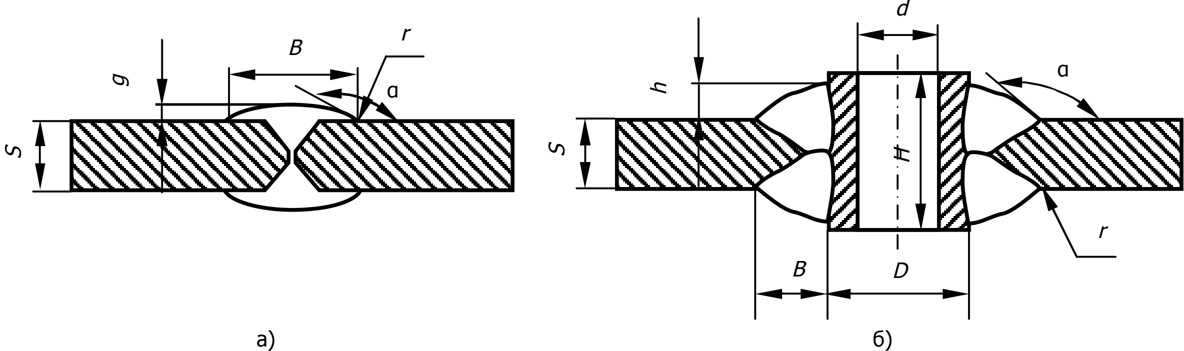


Рис. 1. Сварные соединения и характеризующие их геометрические параметры:
а — стыковое соединение, б — штуцерное соединение

Размеры этих сварных соединений назначаются с учётом требований статической равнопрочности с основным металлом. Несмотря на равнопрочность при однократном нагружении, сопротивление повреждаемости (до момента появления видимой трещины длиной 10—15 мм) и

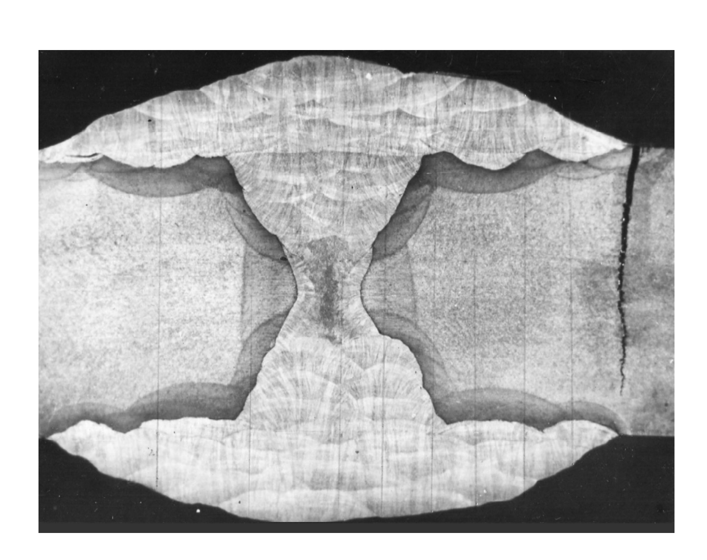
долговечность сварных соединений (в данном случае до момента появления течи) оказывается меньше, чем у основного металла.

Поскольку физические и металлургические процессы, протекающие при сварке, практически не поддаются моделированию в полном объёме, было принято решение о проведении испытаний на натурных сварных узлах при полном сохранении технологии сварки и основных параметров геометрии соединений в условиях, близких к работе корпусных конструкций. Исследования малоцикловой усталости сварных соединений проводились на образцах в виде дисков диаметром 550 мм, толщиной 30 мм на установке УДИ-25 [1, 2]. В этих установках сварные соединения, показанные на рис. 1, шарнирно закрепляются по контуру, нагружаются гидростатическим давлением масла. Под действием гидростатического давления образец в виде диска прогибается, в нём возникает осесимметричный изгиб. На внутренней поверхности образуются напряжения сжатия, на внешней поверхности образца – напряжения растяжения, на неё воздействует коррозионная среда — 3 % водный раствор хлористого натрия. Для всех сварных соединений в качестве основного металла была взята конструкционная хромоникельмолибденовая сталь. Ручная дуговая сварка выполнялась аустенитными электродами ЭА 981/15.

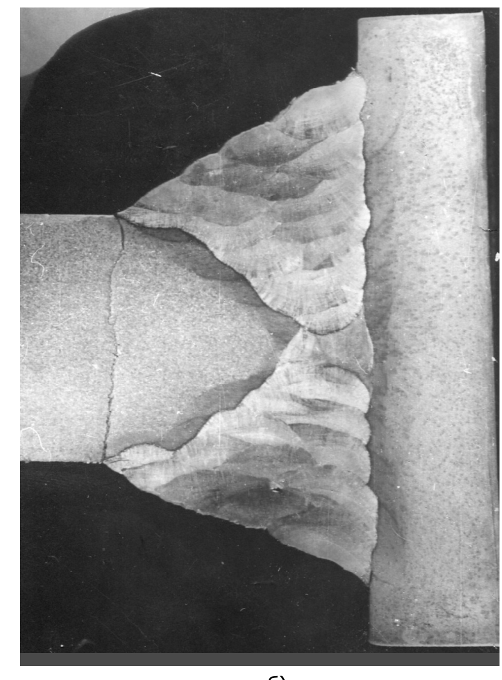
Испытания образцов проводили при повторно-статическом отнулевом нагружении с частотой 10 циклов/мин.

Результаты испытаний основного металла, сварных стыковых и штуцерных соединений при разном уровне максимальных напряжений при пульсирующем отнулевом цикле нагружения показали, что сварные стыковые и штуцерные соединения, испытанные при малоцикловом нагружении в коррозионной среде, значительно уступают по сопротивляемости зарождению и развитию разрушения основному металлу.

На рис. 2 показано, что в симметричных сварных соединениях к потере герметичности привело зарождение и развитие разрушения, как со стороны сжатых, так и со стороны растянутых волокон. Следует подчеркнуть, что к моменту потери герметичности трещины со стороны растянутых волокон успевают пройти 90 % толщины, а со стороны сжатых волокон — оставшиеся 10 %.



а)



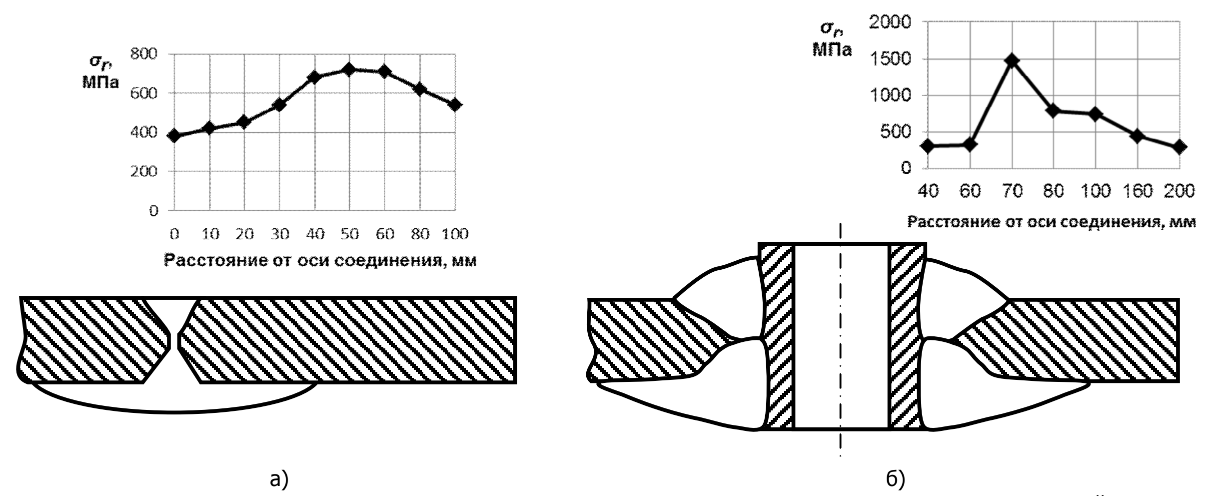
б)

Рис. 2. Характер разрушения сварных соединений по толщине: а — стыковое соединение, б — штуцерное соединение

Анализ результатов испытаний более 70 образцов позволил установить, что основным источником разрушения сварных соединений является зона перехода от шва к основному металлу, где возникают максимальные напряжения. Величина максимальных напряжений зависит от местных напряжений, которые определяются нормируемыми параметрами сварных соединений (для стыкового соединения это величины *S*, *B*, *g*; для штуцерного соединения — *S*, *B*, *h*, *H*, *D*, *d*), и от локальных напряжений, зависящих от параметров сварного соединения *r* и α, которые не регламентируются нормативной документацией и могут изменяться в широком диапазоне. При ручной дуговой сварке радиус перехода от металла шва к основному металлу *r* может изменяться от 0,1 мм до 5—8 мм, последние величины характерны для специально оплавленного в аргоне или механически обработанного шва.

Для повышения сопротивляемости зарождению и развитию разрушения сварные соединения следует проектировать таким образом, чтобы глобальные максимальные напряжения на растянутых волокнах приходились не на зону перехода от металла шва к основному металлу, а на основной металл. При этом желательно всемерно уменьшать и локальную концентрацию напряжений, что может быть достигнуто увеличением радиуса перехода и угла подхода от металла шва к основному металлу.

Рассмотрим практическую реализацию такого подхода. В качестве примера на рис. 3, *б* показано штуцерное соединение, у которого максимальные напряжения на растянутой поверхности уменьшены за счёт увеличения величины катета со стороны сжатых волокон. На рис. 3, *а* показано сварное стыковое соединение, у которого удалось избежать не только концентрации локальных напряжений на растянутых волокнах, но и снизить величину местных напряжений в районе стыкового соединения на растянутых волокнах благодаря увеличенному усилению со стороны сжатых волокон. На рис. 3 также показано распределение напряжений в зоне сопряжения металла шва с основным материалом. Распределение напряжений рассчитывали методом конечных элементов и измеряли тензометрированием. Результаты показали удовлетворительную сходимость.



а) б)

Рис. 3. Сварные соединения с изменением геометрии шва и характер распределения радиальных напряжений: а — стыковое соединение с усилением шва в области сжатия, б — штуцерное соединение с подкрепляющим швом в области сжатия

Результаты испытаний спроектированных соединений показывают, что сопротивляемость зарождению и развитию разрушения спроектированных соединений не уступает аналогичным характеристикам основного металла. Разрушение зарождалось и развивалось по основному металлу, при этом долговечность сварных соединений возросла до уровня основного материала.

Выводы. Регулируя местные напряжения путём изменения конструктивных параметров соединения и локальные напряжения различными технологическими приёмами, удаётся получить свар-

ные соединения, не уступающие по характеристикам зарождения и развития разрушения основному металлу, а при наличии знания зависимости между напряжениями и долговечностью до зарождения и до потери герметичности основного металла появилась возможность проектировать сварные соединения на заданную долговечность.

Библиографический список

1. Исследование малоцикловой усталости сварных соединений типа «вварыш-лист»: отчёт о НИР, хоздоговор № 1173/792-77 / Ю. Г. Людмирский и др.; РИСХМ. — Ростов-на-Дону, 1978.

2. Лукьянов, В. Ф. Испытания элементов корпусных конструкций при двухосном напряжённом состоянии / В. Ф. Лукьянов, Ю. Г. Людмирский, В. В. Напрасников // Заводская лаборатория. — 1986. — № 7. — С. 63—65.

Материал поступил в редакцию 23.12.2011.

References

1. Issledovanie malociklovoj ustalosti svarny`x soedinenij tipa «vvary`sh-list»: otchyot o NIR, xozdogovor № 1173/792-77 / Yu. G. Lyudmirskij i dr.; RISXM. — Rostov-na-Donu, 1978. — In Russian.

2. Luk`yanov, V. F. Ispy`taniya e`lementov korpusny`x konstrukcij pri dvuxosnom napryazhyonnom sostoyanii / V. F. Luk`yanov, Yu. G. Lyudmirskij, V. V. Naprasnikov // Zavodskaya laboratoriya. — 1986. — № 7. — S. 63—65. — In Russian.

DESIGN OF WELDED JOINTS PROVIDING LOW-CYCLE FATIGUE AT THE LEVEL OF BASE METAL

V. F. Lukyanov, Y. G. Lyudmirskiy, D. V. Rogozin
(Don State Technical University)

The test data of welded joints with butt and fillet welds on low-cycle fatigue under biaxial tension in the corrosive environment are considered. Some constructive techniques for improving the fatigue strength of welded joints through changing the weld geometrical parameters are offered.
Keywords: *welded joints, durability, design, low-cycle fatigue, tests.*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Азаров Анатолий Дмитриевич, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий отделом сложных информационно-измерительных систем Научно-исследовательского института механики и прикладной математики им. И. И. Воровича Южного федерального университета.
polyani49@mail.ru

Аствацатуров Артём Ервандович, доктор технических наук, доктор философских наук, профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета.

Бабичев Анатолий Прокофьевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения», директор Научно-исследовательского института «Вибротехнология» Донского государственного технического университета.
vibrotech@mail.ru

Бармута Каринэ Александровна, доктор экономических наук, профессор кафедры «Экономика и менеджмент» Донского государственного технического университета.
b_karina@mail.ru

Басина Наталья Ивановна, доктор философских наук, профессор, заведующая кафедрой «Социальная работа» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.
basinatalya.1@mail.ru

Богуславская Вера Васильевна, доктор филологических наук, доцент, заведующая кафедрой «Документоведение и языковая коммуникация» Донского государственного технического университета.
boguslavskaya@gmail.com

Богуславский Игорь Владимирович, доктор технических наук, профессор, проректор Донского государственного технического университета по научно-исследовательской работе и инновационной деятельности.
biv63@mail.ru

Борисова Людмила Викторовна, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Экономика и менеджмент в машиностроении» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.
borisovalv09@mail.ru

Гапонов Владимир Лаврентьевич, доктор технических наук, профессор, директор института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.
gaponov@iem.donstu.ru

Герасименко Юрий Яковлевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация процессов и производств нефтегазового комплекса», декан факультета «Нефтегазопромышленный» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.
dec_neftgas@iem.donstu.ru

Грошев Леонид Матвеевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Сопротивление материалов» Донского государственного технического университета.

Гуринов Андрей Сергеевич, аспирант кафедры «Производственная безопасность» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.
andreigur@rambler.ru

Дащинский Дмитрий Борисович, соискатель учёной степени кандидата экономических наук по кафедре «Организация производства и маркетинг» Донского государственного технического университета.

Джуха Владимир Михайлович, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экономика и предпринимательство» Ростовского государственного экономического университета (РИНХ).
mr.azs@mail.ru

Димитров Валерий Петрович, доктор технических наук, профессор, декан факультета «Приборостроение и техническое регулирование», заведующий кафедрой «Управление качеством» Донского государственного технического университета.
kaf-qm@donstu.ru

Дудник Виталий Владимирович, кандидат технических наук, доцент, заведующий сектором организации и сопровождения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ управления научных исследований Донского государственного технического университета.
vvdudnik@mail.ru

Егельская Елена Владимировна, аспирантка кафедры «Технологическое оборудование» Донского государственного технического университета.

Жаров Виктор Павлович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая механика» Донского государственного технического университета.

Журавлёв Лев Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология конструкционных материалов» Донского государственного технического университета.

Заковоротный Вилор Лаврентьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация производственных процессов» Донского государственного технического университета.
vzakovozotny@dstu.edu.ru

Колесникова Галина Ивановна, доктор философских наук, профессор кафедры «Связи с общественностью» Донского государственного технического университета.
galina_ivanovna@kolesnikova.me

Копкин Андрей Сергеевич, аспирант кафедры «Автоматизация и электропривод станочных систем» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.
akopkin@mail.ru

Короткий Анатолий Аркадьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Транспортные системы и логистика» Донского государственного технического университета.
korot@novoch.ru

Красноступ Станислав Маркович, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Технический сервис машин» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.
kr7273st@yandex.ru

Кудинов Никита Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Донского государственного технического университета.
nikudinov@gmail.com

Кузин Геннадий Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры «Инженерная и компьютерная графика» Донского государственного технического университета.
kuzingen@yandex.ru

Кузьминов Александр Николаевич, доктор экономических наук, профессор кафедры «Экономика и предпринимательство» Ростовского государственного экономического университета (РИНХ).
mr.azs@mail.ru

Курова Екатерина Геннадьевна, кандидат философских наук, доцент кафедры «Философия» Донского государственного технического университета.

Лесняк Ольга Николаевна, старший преподаватель кафедры «Сопротивление материалов» Донского государственного технического университета.
olga1501@inbox.ru

Лещенко Андрей Николаевич, аспирант кафедры «Основы проектирования машин» Ростовского государственного университета путей сообщения.
to_dstu@mail.ru

Лукьянов Виталий Фёдорович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Машины и автоматизация сварочного производства» Донского государственного технического университета.
lukjanov@donpac.ru

Людмирский Юрий Георгиевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и автоматизация сварочного производства» Донского государственного технического университета.

Месхи Бесарион Чохоевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды», ректор Донского государственного технического университета.
reception@donstu.ru

Минаков Валентин Степанович, доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов» Донского государственного технического университета.

Могилевская Надежда Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Донского государственного технического университета.
broshka@nm.ru

Нейдорф Рудольф Анатольевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Донского государственного технического университета.
neyruan@yandex.ru

Нурутдинова Инна Николаевна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Прикладная математика» Донского государственного технического университета.

Озерский Анатолий Иванович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Теплоэнергетика и прикладная гидромеханика» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.
kaf_tepenergo@iem.donstu.ru

Паршин Дмитрий Яковлевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизация и электропривод станочных систем» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.
d.parshin@mail.ru

Попов Михаил Егорович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» Донского государственного технического университета.
pme-dgtu@mail.ru

Попова Светлана Леонидовна, кандидат философских наук, ассистент кафедры «Социальная работа» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.

Пустоветов Михаил Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Автоматизация и электропривод станочных систем» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.
mgsn2006@rambler.ru; mgsn2006@yandex.ru

Радин Виктор Викторович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технический сервис машин» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.
ya.radin2011@yandex.ru

Рогозин Дмитрий Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и автоматизация сварочного производства» Донского государственного технического университета.
dmrogozin@yandex.ru

Скакунова Татьяна Павловна, доцент кафедры «Автоматизация процессов и производств нефтегазового комплекса», заместитель декана факультета «Нефтегазопромышленный» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.
dec_neftgas@iem.donstu.ru

Тетеревлёва Елена Владимировна, старший преподаватель Ухтинского государственного технического университета.
crom_r@rambler.ru

Филиппов Сергей Викторович, старший преподаватель кафедры «Гуманитарные дисциплины и экономика» Каменского института (филиала) Южно-Российского государственного технического университета.
filipps@bk.ru

Финоченко Виктор Анатольевич, доктор технических наук, доцент, декан энергетического факультета Ростовского государственного университета путей сообщения.

Ханукаев Максим Михайлович, аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов» Донского государственного технического университета.

Хозяев Игорь Алексеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Машины и аппараты пищевых производств» Донского государственного технического университета.

Чистяков Андрей Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экономика и менеджмент» Донского государственного технического университета.

Шамшура Сергей Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Вертолётостроение» института управления и инноваций авиационной промышленности Донского государственного технического университета.
up_del@rgups.ru

INDEX

Astvatsaturov, Artem E., PhD in Science, PhD in Philosophy, professor of the Life and Environment Protection Sciences Department, Don State Technical University.

Azarov, Anatoly D., Candidate of Science in Physics and Maths, associate professor, head of the Complex Information and Measuring Systems Department, Research Institute of Mechanics and Applied Mathematics, Southern Federal University.
polyani49@mail.ru

Babichev, Anatoly P., PhD in Science, professor of the Engineering Technology Department, director of the Research Institute of Vibrotechnology, Don State Technical University.
vibrotech@mail.ru

Barmuta, Karine A., PhD in Economics, professor of the Economics and Management Department, Don State Technical University.
b_karina@mail.ru

Basina, Natalya I., PhD in Philosophy, professor, head of the Social Work Department, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.
basinatalya.1@mail.ru

Boguslavskaya, Vera V., PhD in Linguistics, associate professor, head of the Document Science and Language Communication Department, Don State Technical University.
boguslavskaya@gmail.com

Boguslavskiy, Igor V., PhD in Science, professor, Vice-president for Research and Innovations, Don State Technical University.
biv63@mail.ru

Borisova, Lyudmila V., PhD in Science, professor, head of the Engineering Economics and Management Department, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.
borisovalv09@mail.ru

Chistyakov, Andrey D., PhD in Science, professor, head of the Economics and Management Department, Don State Technical University.

Dashchinskiy, Dmitry B., EdD Candidate in Economics of the Industrial Engineering and Marketing Department, Don State Technical University.

Dimitrov, Valery P., PhD in Science, professor, dean of the Tools and Instrument Engineering Faculty, head of the Quality Management Department, Don State Technical University.
kaf-qm@donstu.ru

Dudnik, Vitaly V., Candidate of Science in Engineering, associate professor, head of the Research & Development Sector, Scientific Research Department, Don State Technical University.
vvdudnik@mail.ru

Dzhukha, Vladimir M., PhD in Economics, professor, head of the Economics and Entrepreneurship Department, Rostov State University of Economics.
mr.azs@mail.ru

Filippov, Sergey V., assistant professor of the Humanities and Economics Department, Kamensk Institute (branch), South-Russian State Technical University.
filipps@bk.ru

Finochenko, Victor A., PhD in Science, associate professor, dean of the Power Engineering Faculty, Rostov State Transport University.

Gaponov, Vladimir L., PhD in Science, professor, Director of Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.
gaponov@iem.donstu.ru

Gerasimenko, Yury Y., PhD in Science, professor, head of the Process and Industrial Automation for Oil and Gas Complex Department, dean of the Oil and Gas Industry Faculty, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.
dec_neftgas@iem.donstu.ru

Groshev, Leonid M., PhD in Science, professor of the Strength of Materials Department, Don State Technical University.

Gurinov, Andrey S., postgraduate student of the Industrial Safety Department, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.
andreigur@rambler.ru

Khanukayev, Maxim M., postgraduate student of the Production Automation Department, Don State Technical University.

Khozyayev, Igor A., PhD in Science, professor, head of the Food Production Machines and Mechanisms Department, Don State Technical University.

Kolesnikova, Galina I., PhD in Philosophy, professor of the Public Relations Department, Don State Technical University.
galina_ivanovna@kolesnikova.me.

Kopkin, Andrey S., postgraduate student of the Automation and Electrical Drive of Machine Systems Department, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.
akopkin@mail.ru

Korotkiy, Anatoly A., PhD in Science, professor, head of the Transportation Systems and Logistics Department, Don State Technical University.
korot@novoch.ru

Krasnostup, Stanislav M., Candidate of Science in Engineering, associate professor, professor of the Technical Service of Machines Department, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.
kr7273st@yandex.ru

Kudinov, Nikita V., Candidate of Science in Engineering, associate professor of the Computer Software and Automated Systems Department, Don State Technical University.
nikudinov@gmail.com

Kurova, Ekaterina G., Candidate of Science in Philosophy, associate professor of the Philosophy Department, Don State Technical University.

Kuzin, Gennady A., PhD in Science, professor of the Engineering and Computer Graphics Department, Don State Technical University.
kuzingen@yandex.ru

Kuzminov, Alexander N., PhD in Economics, professor of the Economics and Entrepreneurship Department, Rostov State University of Economics.
mr.azs@mail.ru

Leshchenko, Andrey N., postgraduate student of the Machine Design Baseline Department, Rostov State Transport University.
to_dstu@mail.ru

Lesnyak, Olga N., assistant professor of the Strength of Materials Department, Don State Technical University.
olga1501@inbox.ru

Lukyanov, Vitaly F., PhD in Science, professor, head of the Welding Fabrication Machines and Automation Department, Don State Technical University.
lukjanov@donpac.ru

Lyudmirskiy, Yury G., PhD in Science, professor of the Welding Fabrication Machines and Automation Department, Don State Technical University.

Meskhi, Besarion C., PhD in Science, professor, Rector, head of the Life and Environment Protection Sciences Department, Don State Technical University.
reception@donstu.ru

Minakov, Valentin S., PhD in Science, professor of the Production Automation Department, Don State Technical University.

Mogilevskaya, Nadezhda S., Candidate of Science in Engineering, associate professor of the Computer Software and Automated Systems Department, Don State Technical University.
broshka@nm.ru

Neydorf, Rudolf A., PhD in Science, professor, head of the Computer Software and Automated Systems Department, Don State Technical University.
neyruan@yandex.ru

Nurutdinova, Inna N., Candidate of Science in Physics and Maths, associate professor of the Applied Mathematics Department, Don State Technical University.

Ozerskiy, Anatoly I., Candidate of Science in Engineering, associate professor, head of the Heat Power Engineering and Applied Hydromechanics Department, Power Engineering and Machine Building Institute, Don State Technical University.
kaf_tepenergo@iem.donstu.ru

Parshin, Dmitry Y., PhD in Science, professor of the Automation and Electrical Drive of Machine Systems Department, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.
d.parshin@mail.ru

Popov, Mikhail E., PhD in Science, professor of the Engineering Technology Department, Don State Technical University.
pme-dgtu@mail.ru

Popova, Svetlana L., Candidate of Science in Philosophy, teaching assistant of the Social Work Department, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.

Pustovetov, Mikhail Y., Candidate of Science in Engineering, associate professor, head of the Automation and Electric Drive of Machine Systems Department, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.
mgsn2006@rambler.ru; mgsn2006@yandex.ru

Radin, Victor V., PhD in Science, professor of the Technical Service of Machines Department, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.
ya.radin2011@yandex.ru

Rogozin, Dmitry V., Candidate of Science in Engineering, associate professor of the Welding Fabrication Machines and Automation Department, Don State Technical University.
dmrogozin@yandex.ru

Shamshura, Sergey A., Candidate of Science in Engineering, associate professor of the Helicopter Engineering Department, Management and Innovations Institute of Aircraft Industry, Don State Technical University.
up_del@rgups.ru

Skakunova, Tatyana P., associate professor of the Process and Industrial Automation for Oil and Gas Complex Department, associate dean of the Oil and Gas Industry Faculty, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.
dec_neftgas@iem.donstu.ru

Teterevleva, Elena V., assistant professor, Ukhta State Technical University.
crom_r@rambler.ru

Yegelskaya, Elena V., postgraduate student of the Process Equipment Department, Don State Technical University.

Zakovorotniy, Vilor L., PhD in Science, professor, head of the Production Automation Department, Don State Technical University.
vzakovozotny@dstu.edu.ru

Zharov, Victor P., PhD in Science, professor, head of the Engineering Mechanics Department, Don State Technical University.

Zhuravlev, Lev A., PhD in Science, professor of the Construction Materials Engineering Department, Don State Technical University.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

1. Электронный и распечатанный варианты статьи можно представить непосредственно в редакцию журнала. Можно зарегистрировать себя на сайте журнала (http://vestnik.donstu.ru) как автора (если ещё не зарегистрированы) и затем зарегистрировать публикацию. Зарегистрированные на сайте журнала авторы получают возможность загружать статьи в базу данных журнала самостоятельно и в дальнейшем отслеживать состояние своих публикаций. Файл с текстом статьи должен иметь формат DOC. Разметка страницы: поля со всех сторон 2 см, ориентация книжная, формат А4. Текст набирается шрифтом Times New Roman, размер (кегль) 14, абзацный отступ 1,25 см, межстрочный интервал 1,5 строки с использованием автоматической расстановки переносов.

2. В начале статьи в левом верхнем углу ставится индекс УДК. Далее на первой странице сведения идут в такой последовательности: полное название статьи; инициалы и фамилии авторов, место работы; аннотация (≤ 400 символов, включая пробелы); ключевые слова (≤ 150 символов). Затем идёт текст самой статьи, библиографический список, сведения об авторах (Ф. И. О., научная степень, звание, должность и место работы, e-mail).

3. Дополнительно к статье должны быть представлены следующие материалы на английском языке: полное название статьи, Ф. И. О. авторов, аннотация, ключевые слова, сведения об авторах.

4. Статья должна предусматривать разделы: введение (постановка задачи), основную часть (подзаголовки), выводы или заключение.

5. Объём статьи не должен превышать 16 страниц текста, 5 рисунков или фотографий; обзора — 25 страниц, 10 рисунков; краткого сообщения — 3 страниц, 2 рисунков.

6. Иллюстрации (рисунки, графики) должны быть расположены в тексте статьи и выполнены в одном из графических редакторов (формат TIF, PCC, JPG, PCD, MSP, DIB, CDR, CGM, EPS, WMF). Каждый рисунок должен иметь подпись. Рисунки должны иметь контрастное изображение. Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь заголовок. Формулы и буквенные обозначения величин должны быть набраны в редакторе формул Microsoft Equation или MathType.

7. Размерность физических величин, используемых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц (СИ). Не следует употреблять сокращённых слов, кроме общепринятых (*т. е.*, *и т. д.*, *и т. п.*). Буквы латинского алфавита, обозначающие физические величины, набирают курсивом; буквы греческого алфавита и готического (немецкого) — в прямом начертании.

8. Библиографический список должен включать: фамилию и инициалы автора, название статьи, название журнала, том, год, номер или выпуск, страницы, а для книг — фамилию и инициалы автора, название книги, место издания (город), издательство, год издания, количество страниц.

9. Редколлегия оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

10. Статьи, не отвечающие правилам оформления, к рассмотрению не принимаются, рукописи и электронные носители авторам не возвращаются. Датой поступления считается день получения редколлегией окончательного текста статьи.

11. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Более подробно с правилами оформления следует ознакомиться на сайте журнала «Вестник ДГТУ» по адресу: http://vestnik.donstu.ru.